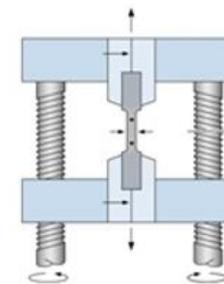
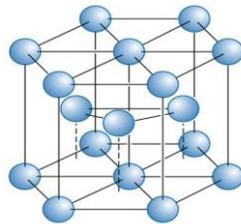
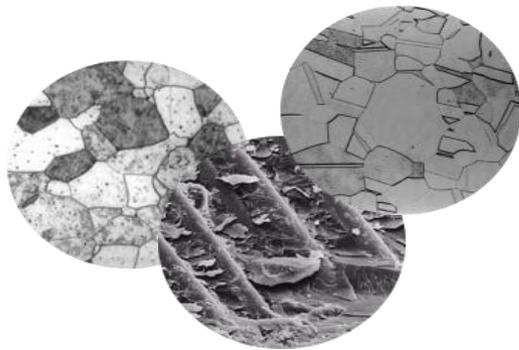


SMM0333 - SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA PROJETO MECÂNICO



AÇO DE ALTO-FORNO X AÇO DE ACIARIA ELÉTRICA

AÇO DE ALTO-FORNO:

- **Sem** elementos **residuais** (Cr, Ni, Mo,);
- Resultado do tratamento térmico de **têmpera: dureza** mais **baixa e não uniforme** ao longo de uma barra;

AÇO DE ACIARIA ELÉTRICA:

- **Presença** de elementos **residuais (sucata)**;
- **Favorece** propriedades após o tratamento térmico de **têmpera: maior dureza e maior uniformidade.**

AÇO DESGASEIFICADO X NÃO DESGASEIFICADO

AÇO NÃO DESGASEIFICADO:

- **Possível presença de gases como hidrogênio, bolhas;**
- **Mais frágil: no ensaio de tração, menor alongamento, no ensaio de impacto: menor energia absorvida.**

**AÇO TOTALMENTE
ACALMADO**

X

AÇO SEMI-ACALMADO

X

AÇO EFFERVESCENTE

FRAGILIDADE



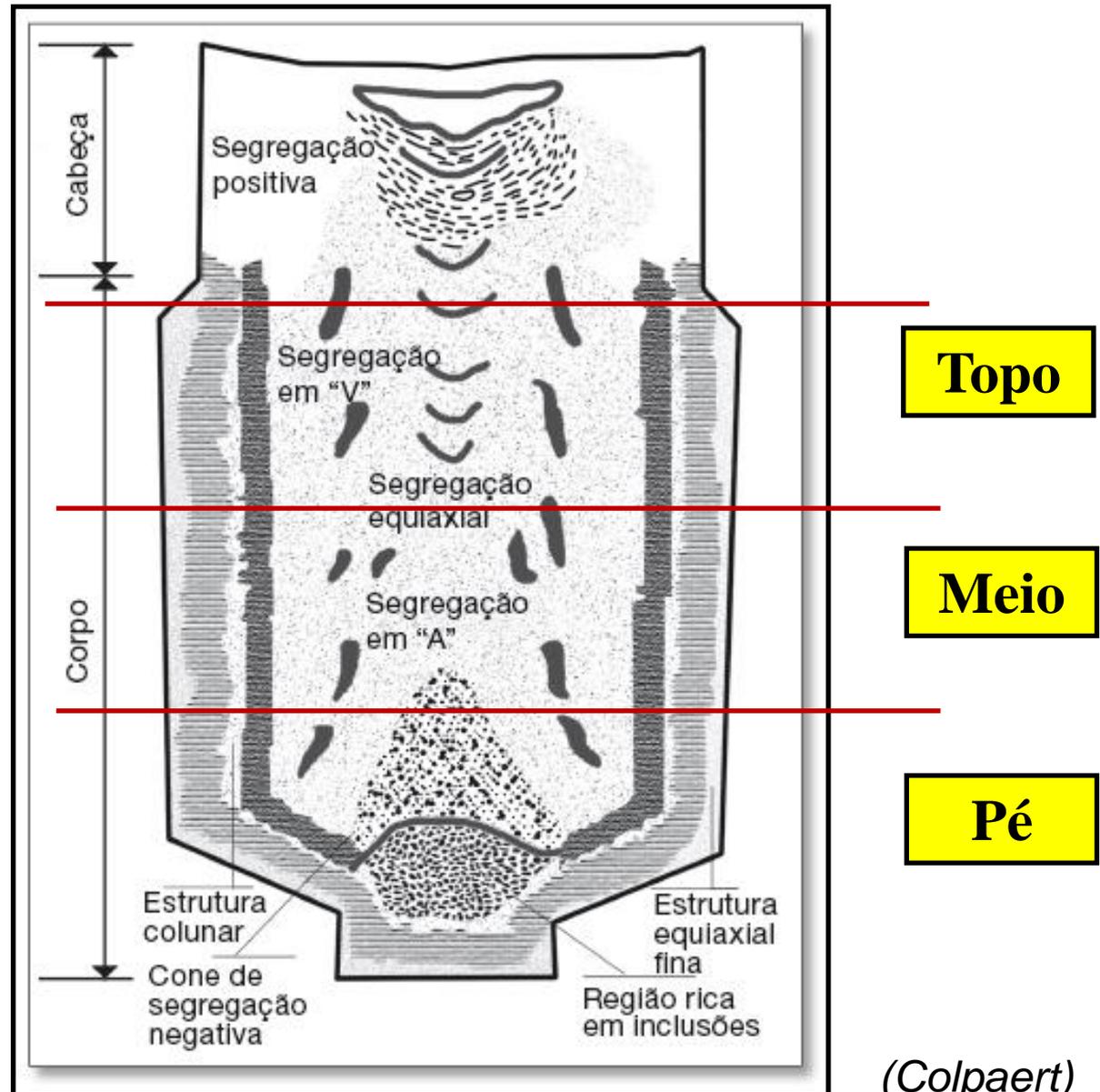
SOLIDIFICAÇÃO: LINGOTE CONVENCIONAL

Aço “comercial”:
15% de descarte
da cabeça quente

Aço

“qualidade”: 30%
de descarte da
cabeça quente

Identificação:
TTT (topo do
topo)

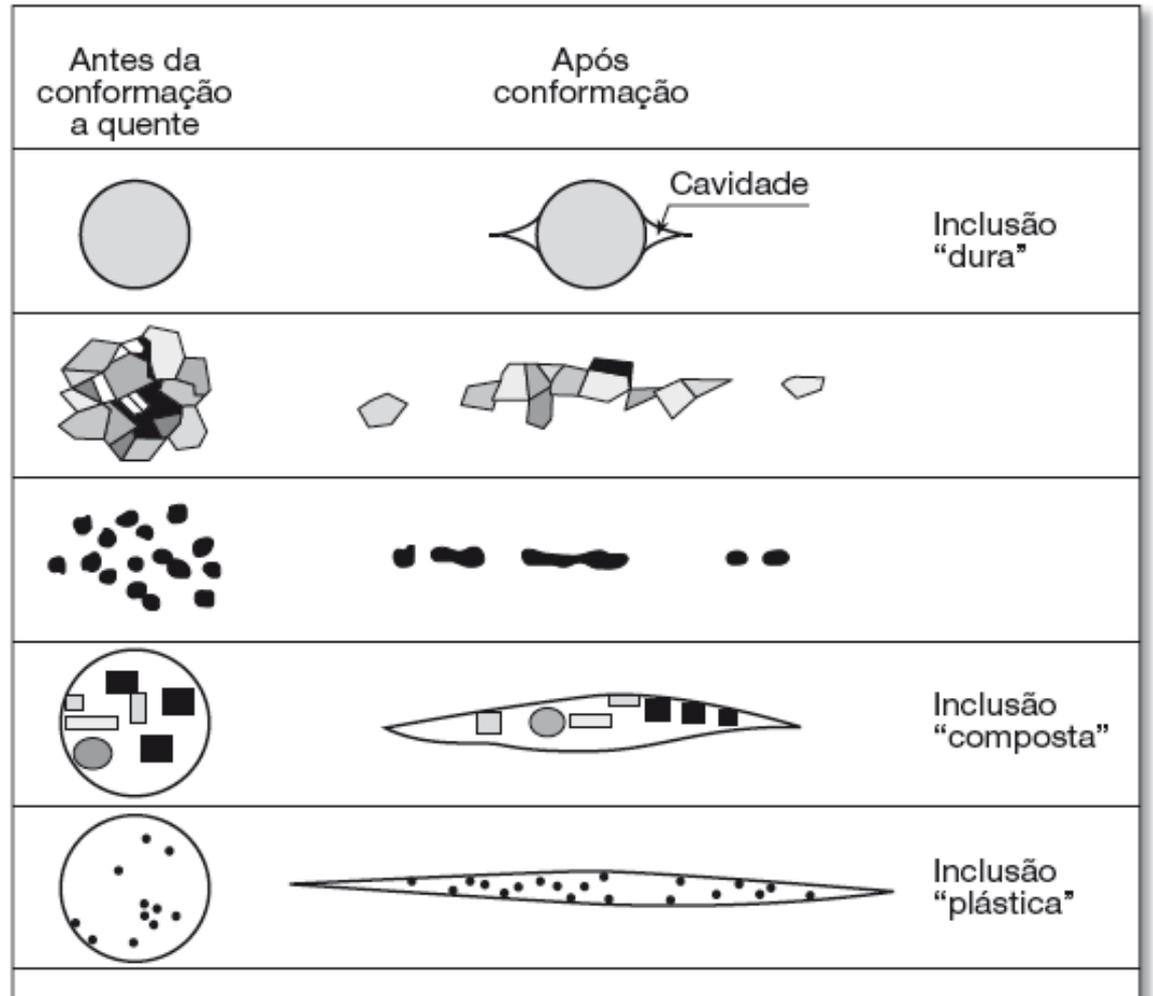


(Colpaert)

Figura 11.20

Efeito da plasticidade relativa da inclusão sobre sua deformação em relação ao aço. Inclusões plásticas se alongarão de acordo com o trabalho a quente. Inclusões duras podem permanecer inalteradas ou quebrarem, com redistribuição no produto. [2].

**EFEITO DA
CONFORMAÇÃO
NAS INCLUSÕES
NÃO DESAPARECE
COM
TRATAMENTOS
TÉRMICOS.**



**MINÉRIO/SUCATA/C
OQUE/REFRATÁRIO
(S,P,Si)**

**CONVERSORES
(O₂)**

**TRATAMENTOS PARA
ACALMAR
(Ca,Al,Mn,Mg)**

**INCLUSÕES NÃO
METÁLICAS: ENDÓGENAS E
EXÓGENAS**

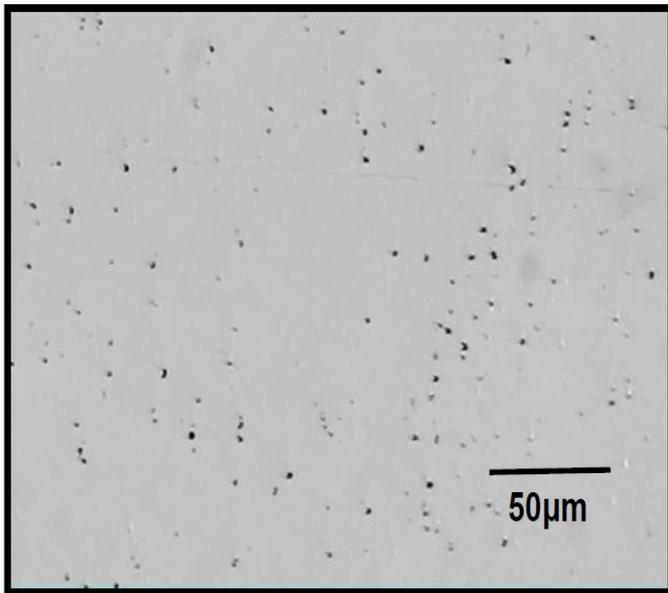
**TIPO A
SULFETOS
(Mn,Fe,Ca)**

**TIPO B
ALUMINA
(Al₂O₃)**

**TIPO C
SILICATOS
(SiO₂)**

**TIPO D
ÓXIDOS
GLOBULARES
(Mn,Fe,Ca)**

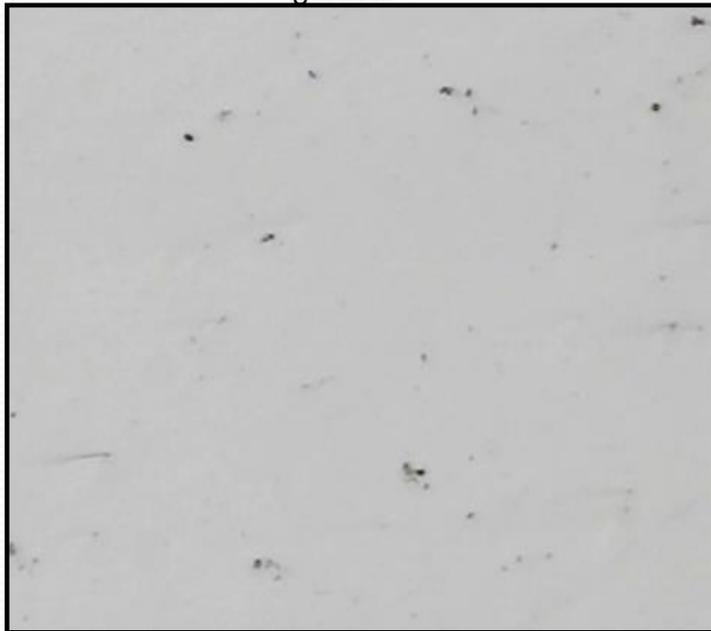
(MARCOMINI)



Amostra 3. Inclusões de óxido globular (tipo D), nível 3, série fina e grossa.

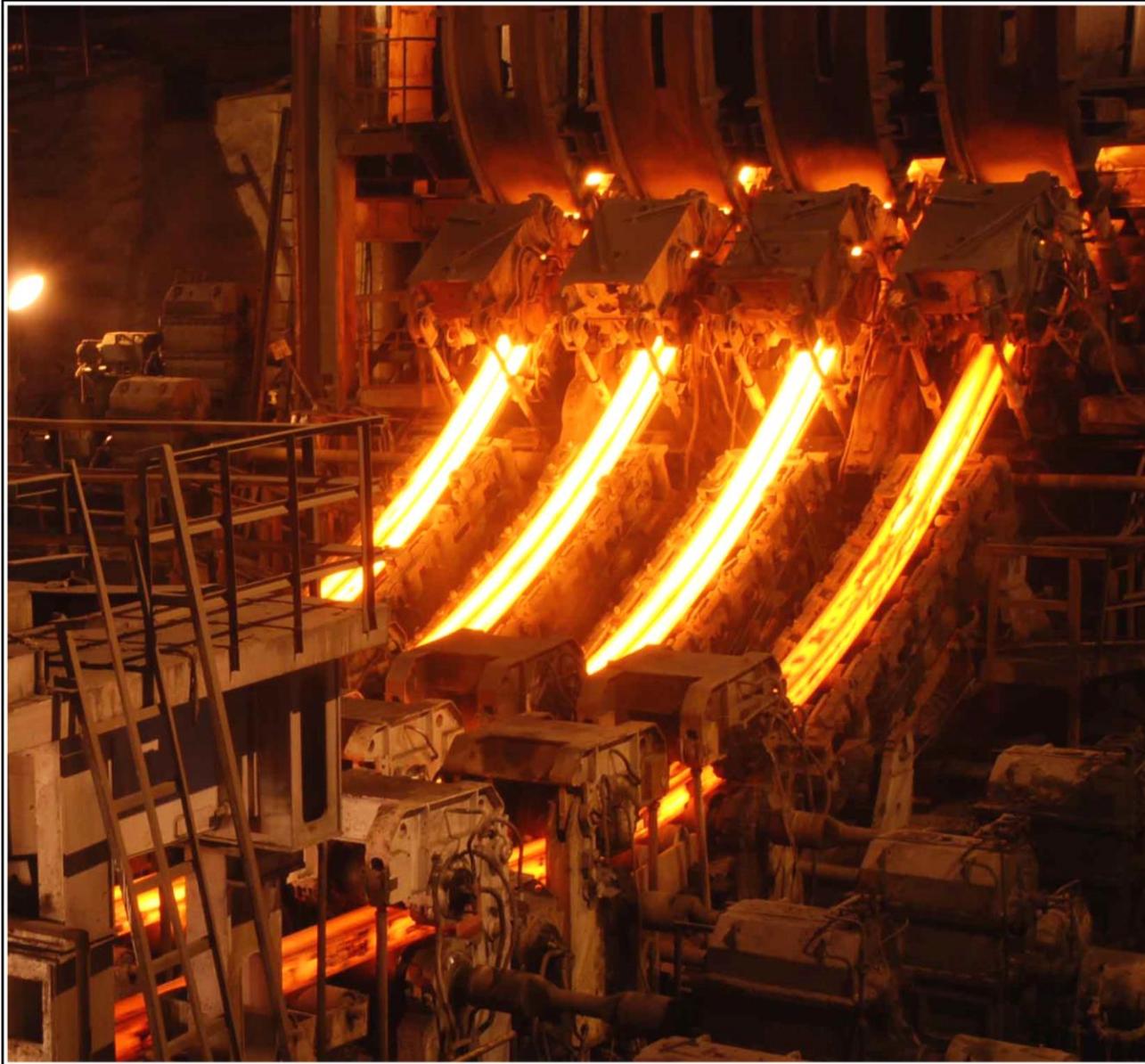


INCLUSÕES DE SULFETO-
1000X



análise de microinclusões do CP3. Tipos A,B, nível1, série fina

LINGOTAMENTO CONTÍNUO



SOLIDIFICAÇÃO: TARUGO DE LING. CONTÍNUO

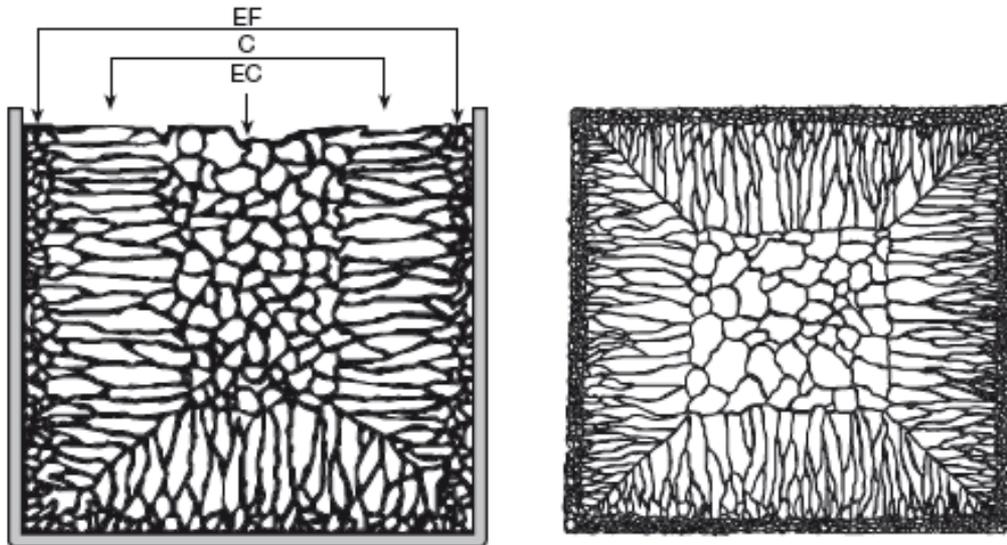
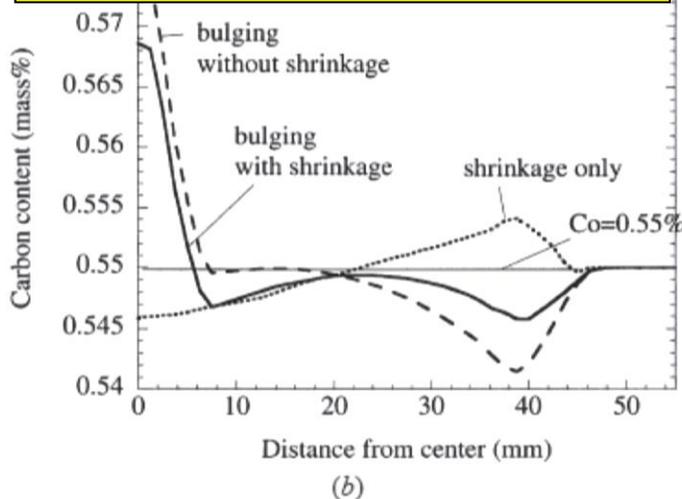


Figura 8.49

Diferentes estruturas em um lingote: Zona Equiaxial Fina (EF), Zona Colunar (C) e Zona Equiaxial Central (EC). A extensão de cada zona depende do material solidificado e das condições de solidificação. À esquerda, corte longitudinal (parcial) e à direita, corte transversal. As mesmas estruturas ocorrem em produtos de lingotamento contínuo. [5]

(Colpaert)

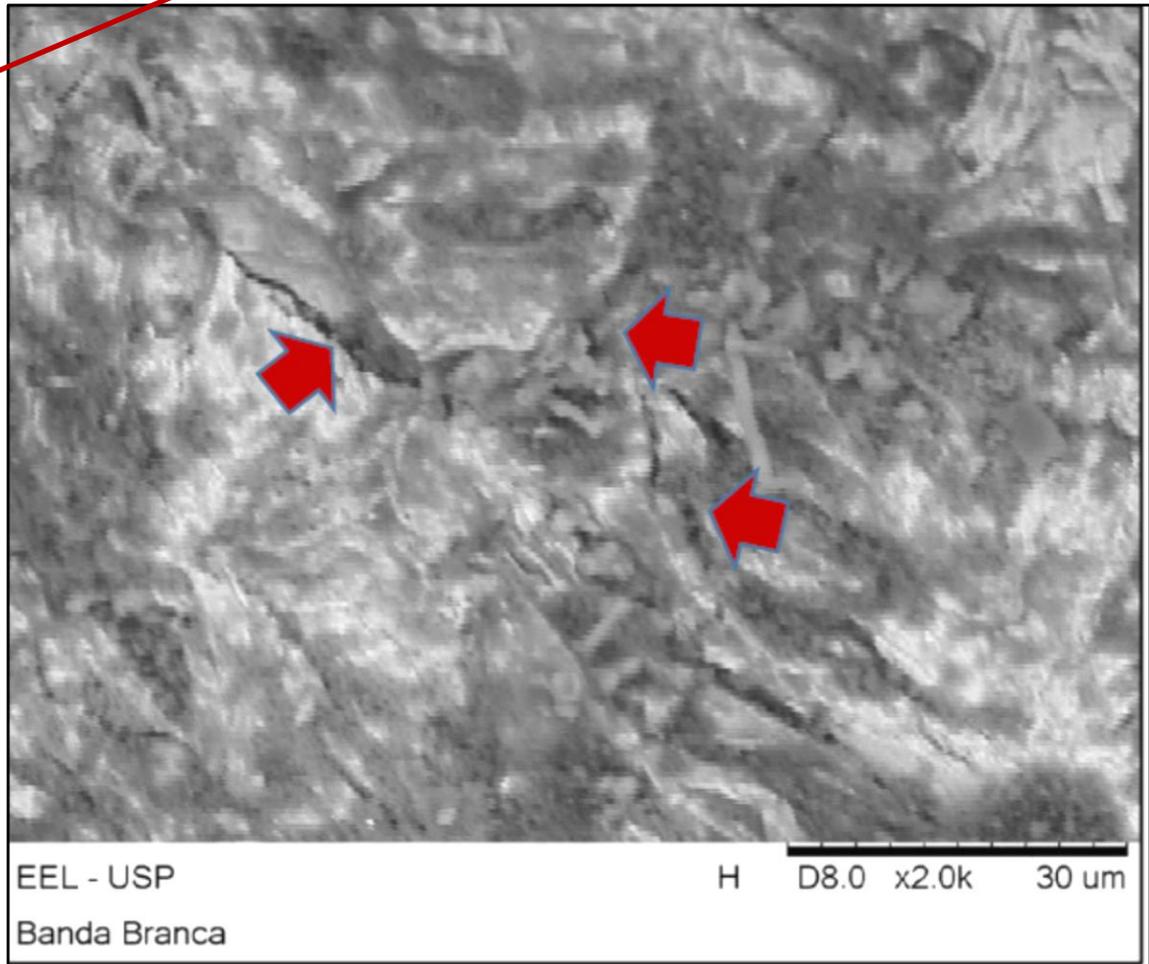
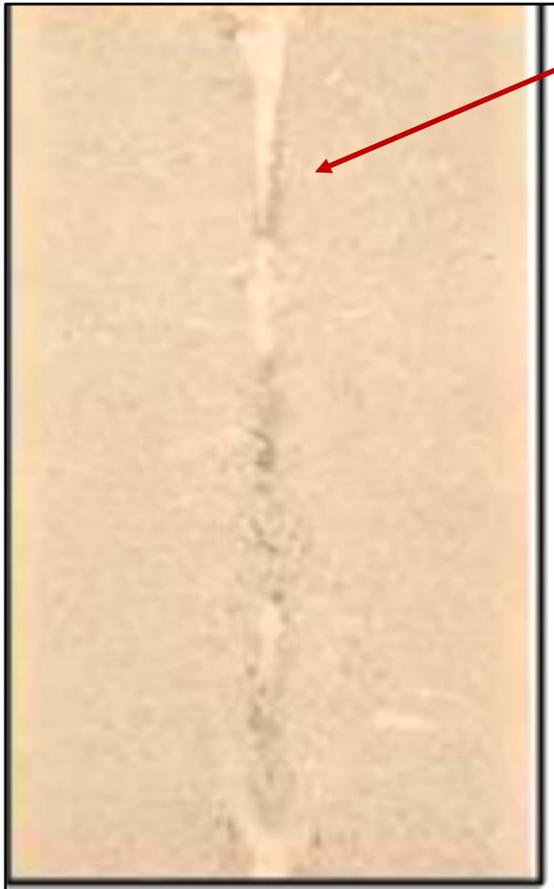
Segregação inversa



Banda Branca



Banda Branca



Fratura intergranular dentro da Banda Branca

LINGOTAMENTO CONTÍNUO

X

LINGOTAMENTO CONVENCIONAL

VEIOS –LC-BRASIL:

- QD 155,00mm e 185,00mm;
- QD150,00 e 240,00mm.

REDUÇÃO DE ÁREA MÍNIMA P/ INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS: 8:1.

SUPONDO QUE EU VOU LAMINAR UM RED. 76,20mm (3”) E USINAR UM EIXO COM 65mm DE DIÂMETRO, PARTINDO DE UM TARUGO DE LC QD 150mm:

$$**RA = \frac{AI}{AF} = \frac{22500}{13273} = 1,7:1**$$

FORNO POR INDUÇÃO A VÁCUO (INIBE FORMAÇÃO DE INCLUSÕES).EX: AÇOS AO Si.

REFINO EM PANELA (NO ESTADO LÍQUIDO)

- Desgaseificação;
- Desoxidação;
- Dessulfuração;
- Desfosforação.

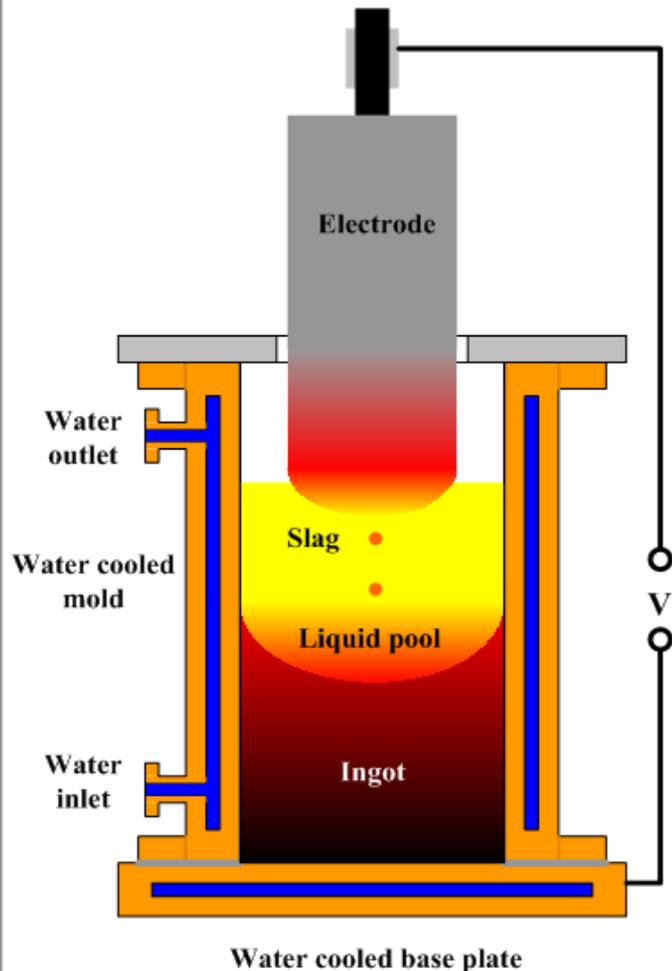
REFINO COM REFUSÃO (APÓS LINGOTAMENTO)

- Refusão sob escória eletrocondutora (ESR);
- Refusão a arco sob vácuo(VAR);
- Refusão por feixe de elétrons;
- Fusão zonal.

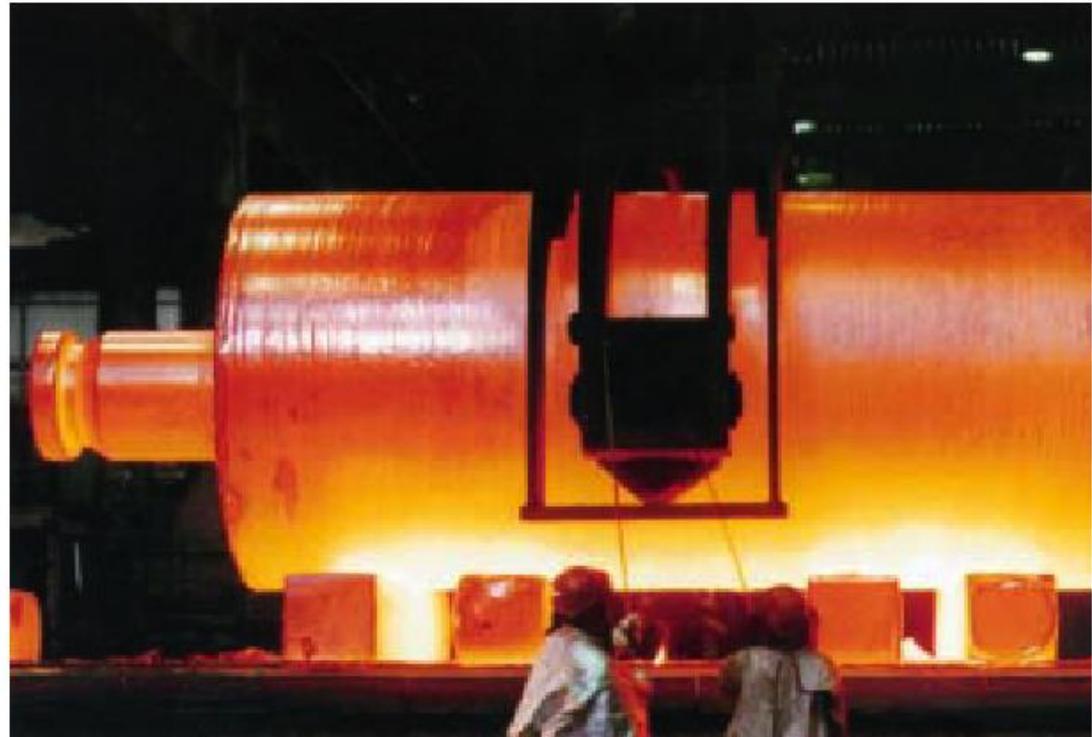
CUSTO X BENEFÍCIO

REFINO SECUNDÁRIO – REFUSÃO- ELETROESCÓRIA

Electroslag remelting

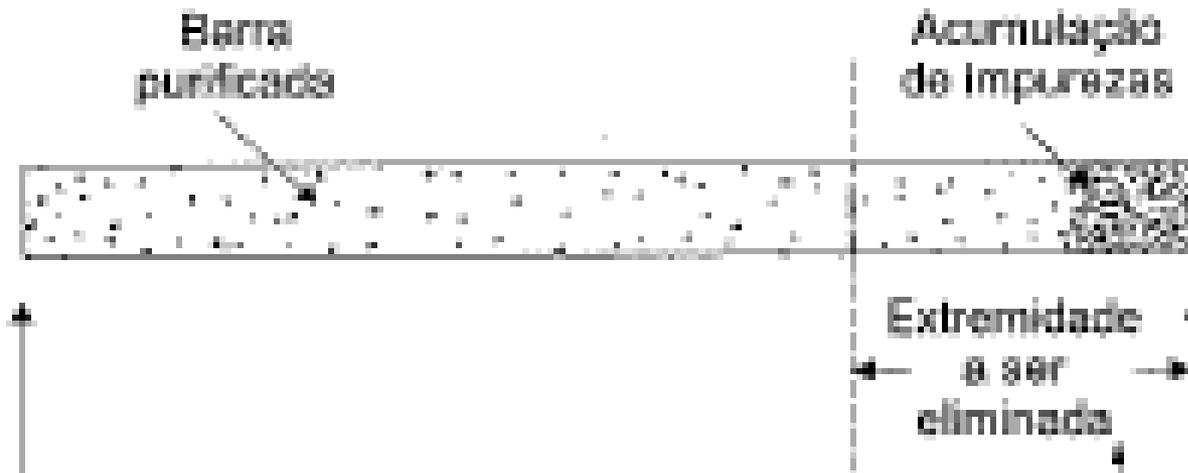
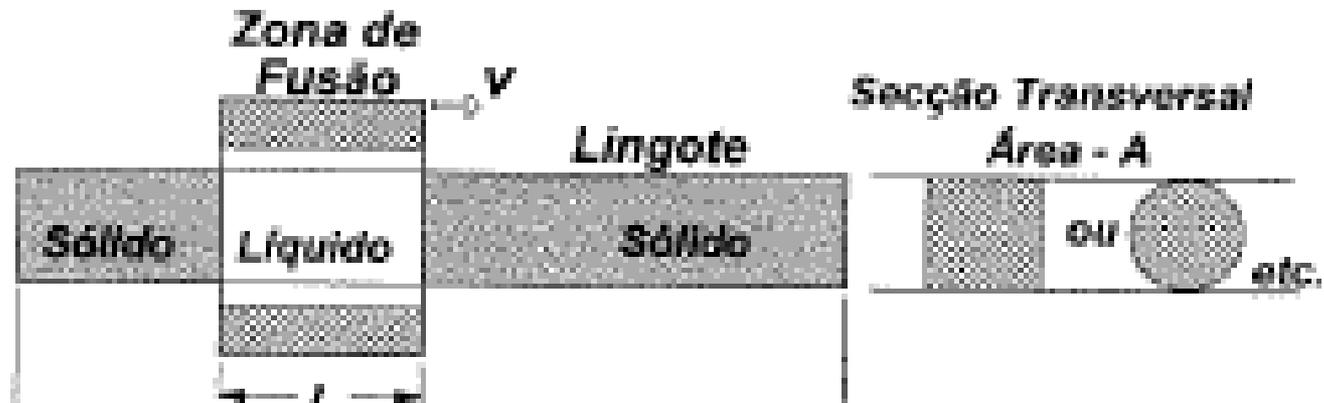


www.substech.com

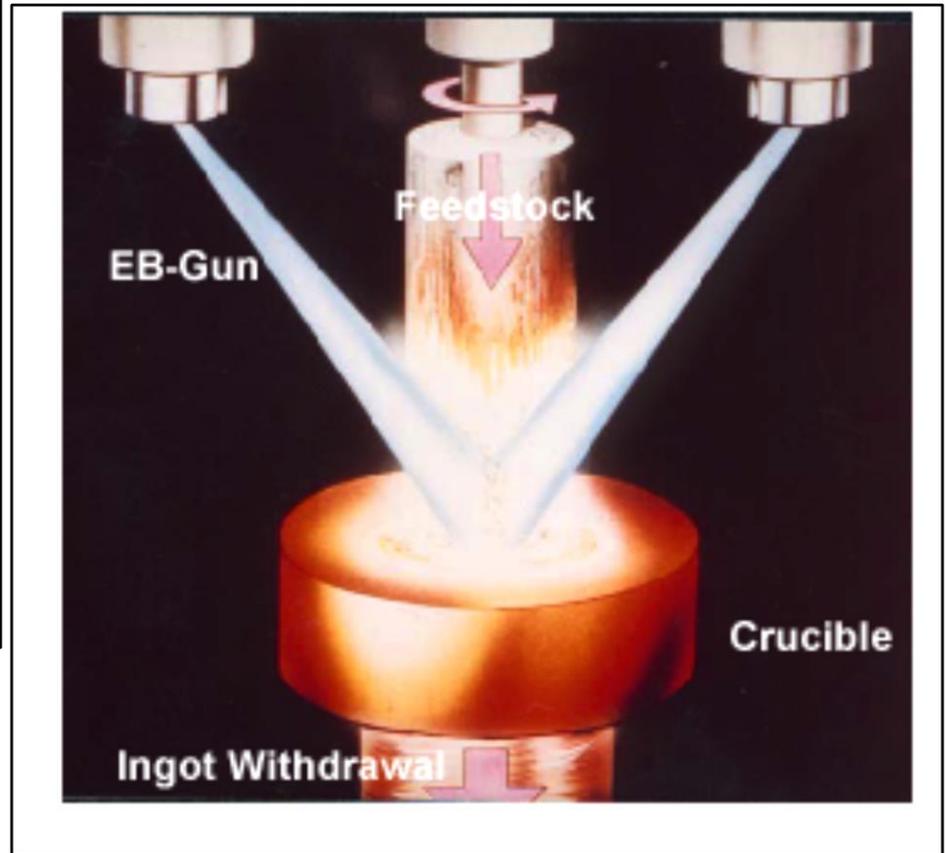
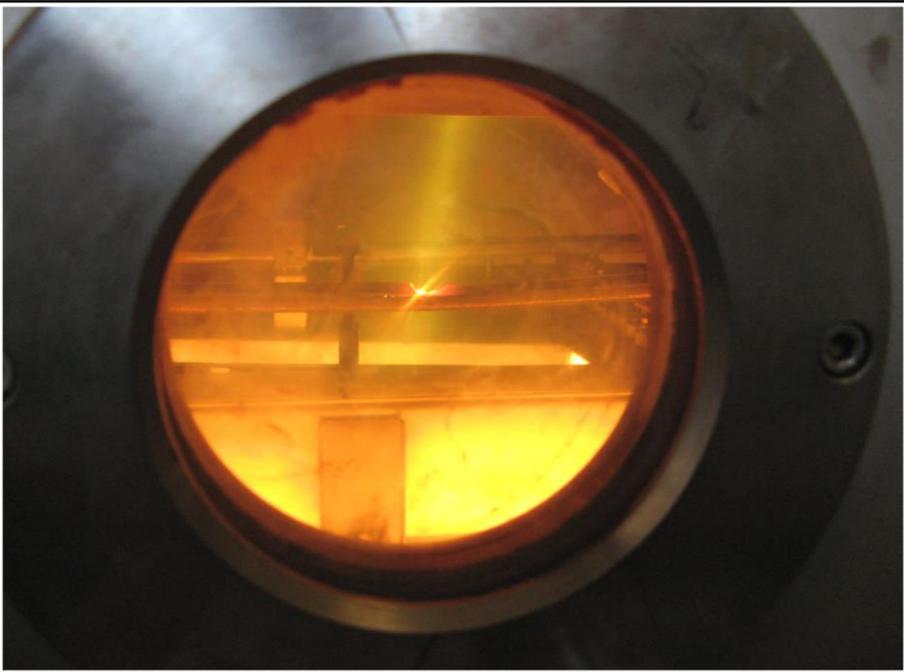


165 ton ESR ingot, 2,300 mm diameter x 5,000 mm long.

REFINO POR FUSÃO ZONAL



REFINO SECUNDÁRIO - FEIXE DE ELÉTRONS



REFINO UTILIZADO TANTO
PARA AÇOS COMO PARA
METAIS REFRATÁRIOS COMO O
TÂNTALO E O NIÓBIO

NIÓBIO



- O Brasil possui a maior reserva de nióbio do mundo, com 98% da produção mundial, seguido pelo Canadá e Austrália;
- O minério mais importante deste metal é o pirocloro;
- As reservas brasileiras apresentam teor médio de 0,73% de Nb_2O_5 ;

METAL COM REFINO
SECUNDÁRIO

X

METAL SEM REFINO
SECUNDÁRIO



CUSTO X BENEFÍCIO

CONFORMAÇÃO

FORJAMENTO

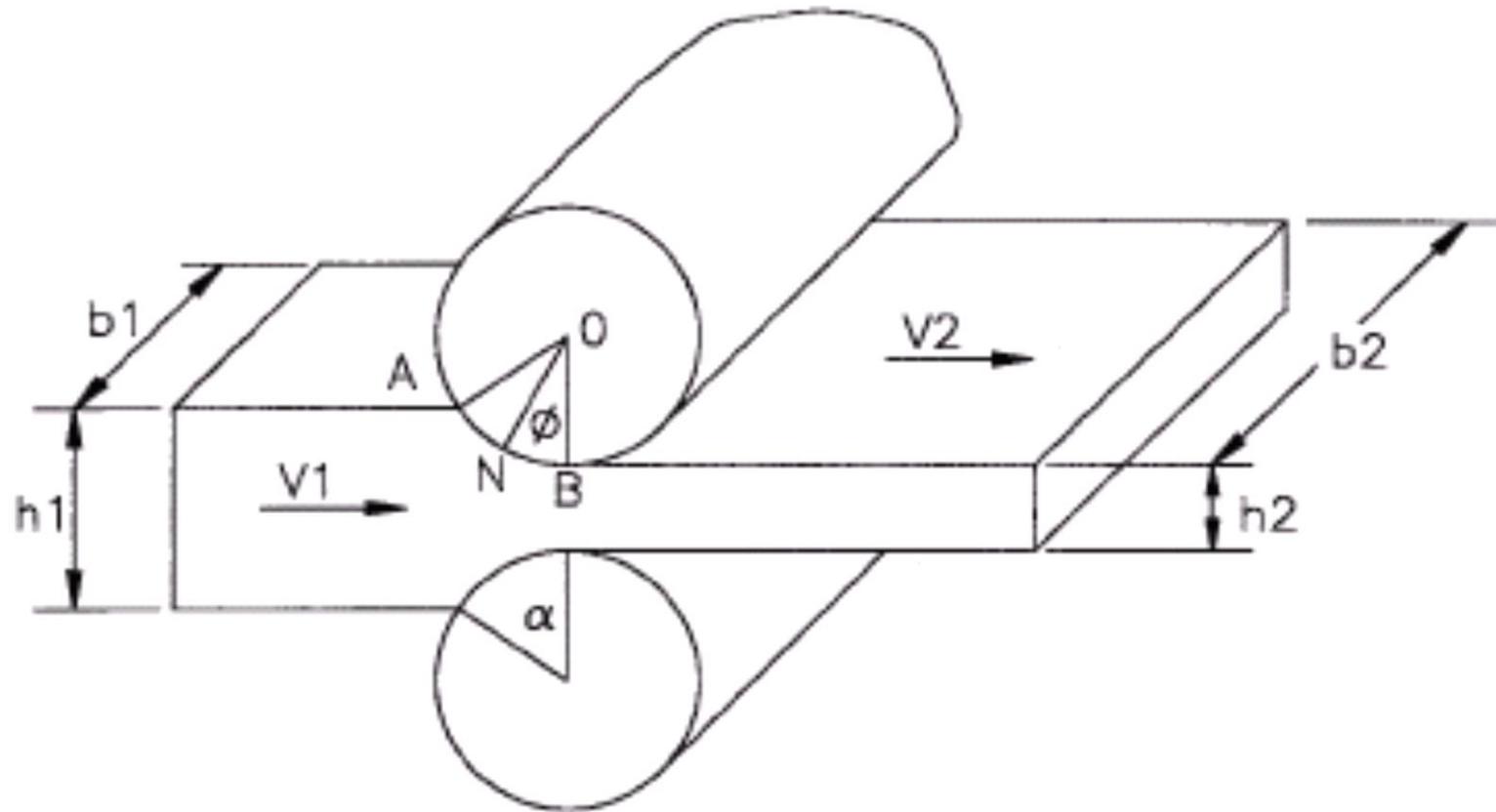


**FORJAMENTO EM
MATRIZ FECHADA.**



**FORJAMENTO EM
MATRIZ ABERTA.**

LAMINAÇÃO

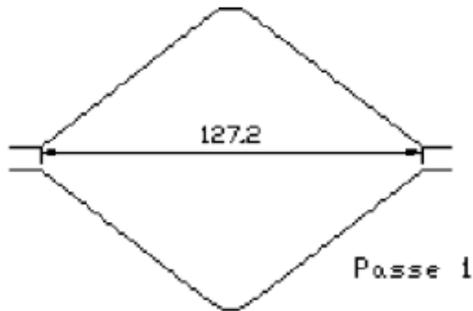


CALIBRAÇÃO

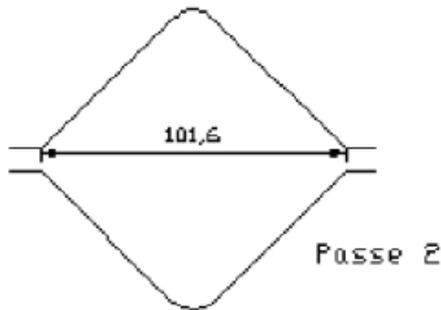
LAMINAÇÃO-CALIBRAÇÃO

O modelo de Ekelund para o cálculo do alargamento:

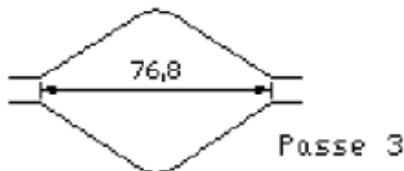
$$b_1^2 - b_0^2 = 8 \times m \times ld \times \Delta h - 4 \times m \times (h_0 + h_1) \times ld \times \ln\left(\frac{b_1}{b_0}\right)$$



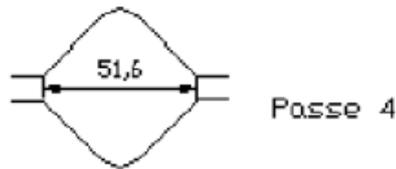
Passe 1



Passe 2



Passe 3



Passe 4



Passe 5

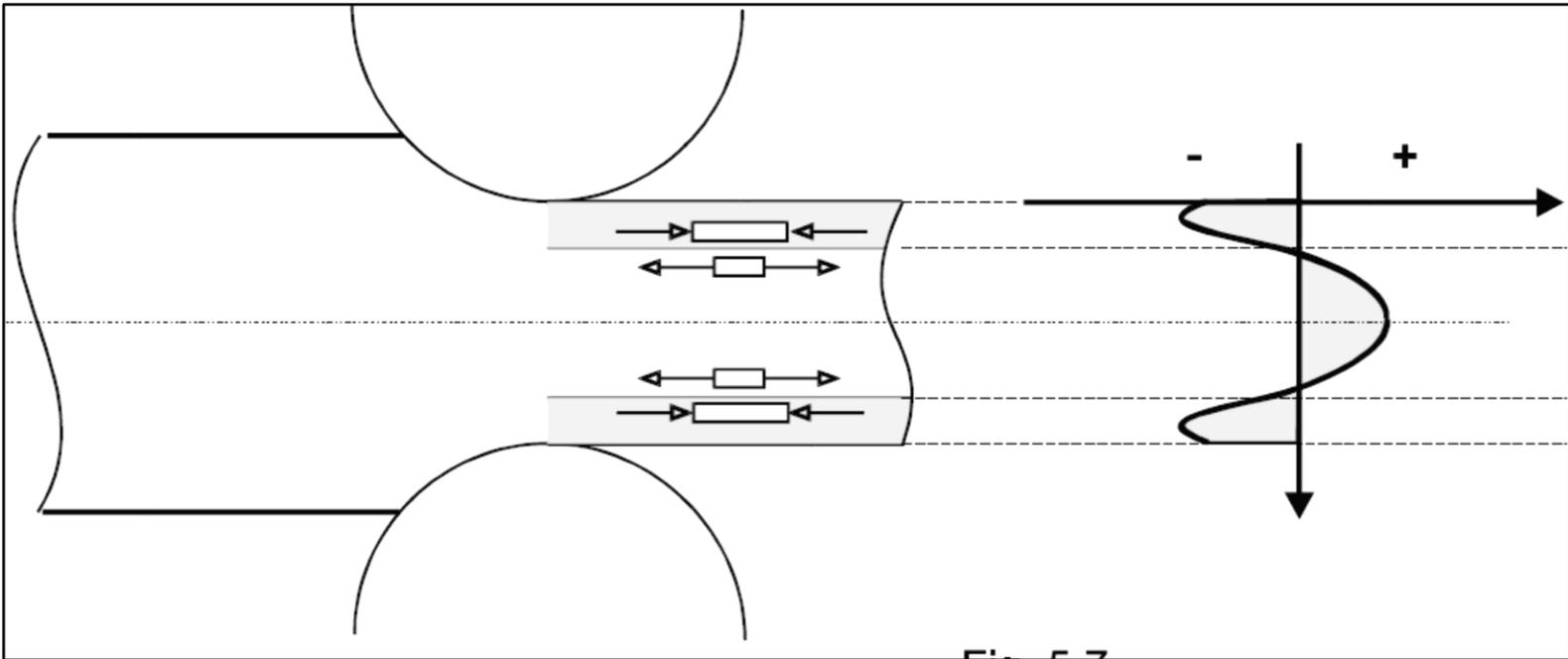


Passe 6

Parâmetro de processo: temperatura muito baixa leva ao alargamento e consequente formação de friso e posteriormente torna-se uma dobra de laminação: defeito. Seleção do fornecedor é importante: auditoria de processos

TR RESULTANTES DE TRABALHO MECÂNICO A FRIO

Chapa laminada a frio (pequena redução)



Aumenta a resistência à fadiga!

Roscas laminadas tem muito maior resistência à fadiga do que roscas usinadas.

Ex: resistência à fadiga (tensão alternada) em 10^5 ciclos para parafusos feitos de aço AISI8635

Roscas laminadas

74 ksi

Roscas usinadas

44 ksi

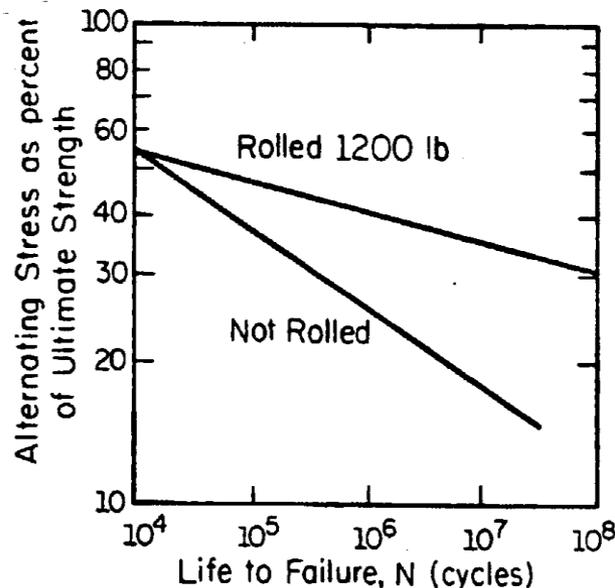


Figure 1.22 Effects of cold rolling on *S-N* curve of steel. (From Ref. 9.)

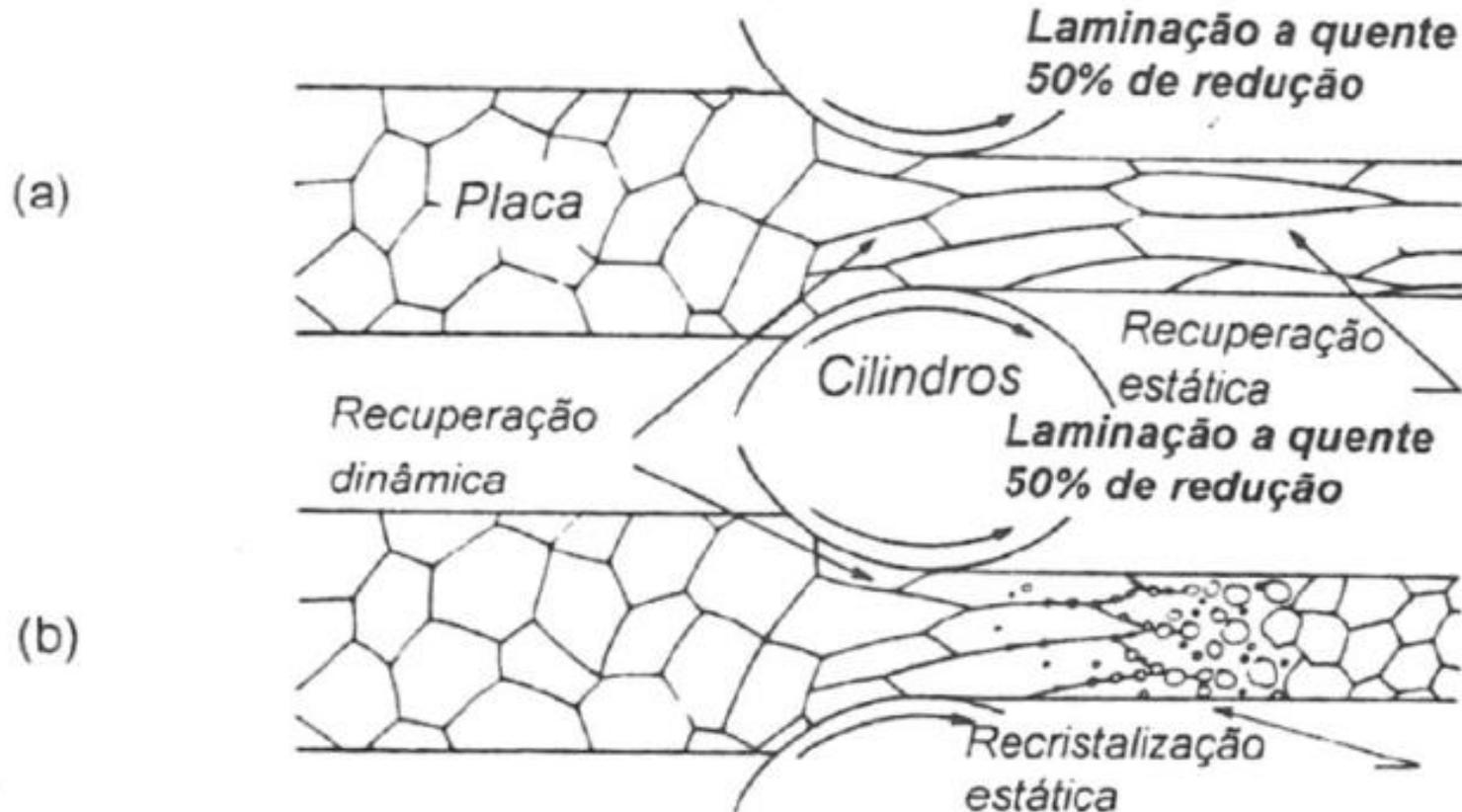
- **Controle de microestrutura e, conseqüentemente propriedades, no próprio processo de fabricação;**
- **redução do custo de fabricação;**
- **Permite a seleção de um processo otimizado e com menor custo**

FENÔMENOS DOS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO A QUENTE

RECUPERAÇÃO:

- ESTÁTICA;
- DINÂMICA;

LAMINAÇÃO COM POUCA QUANTIDADE DE DEFORMAÇÃO

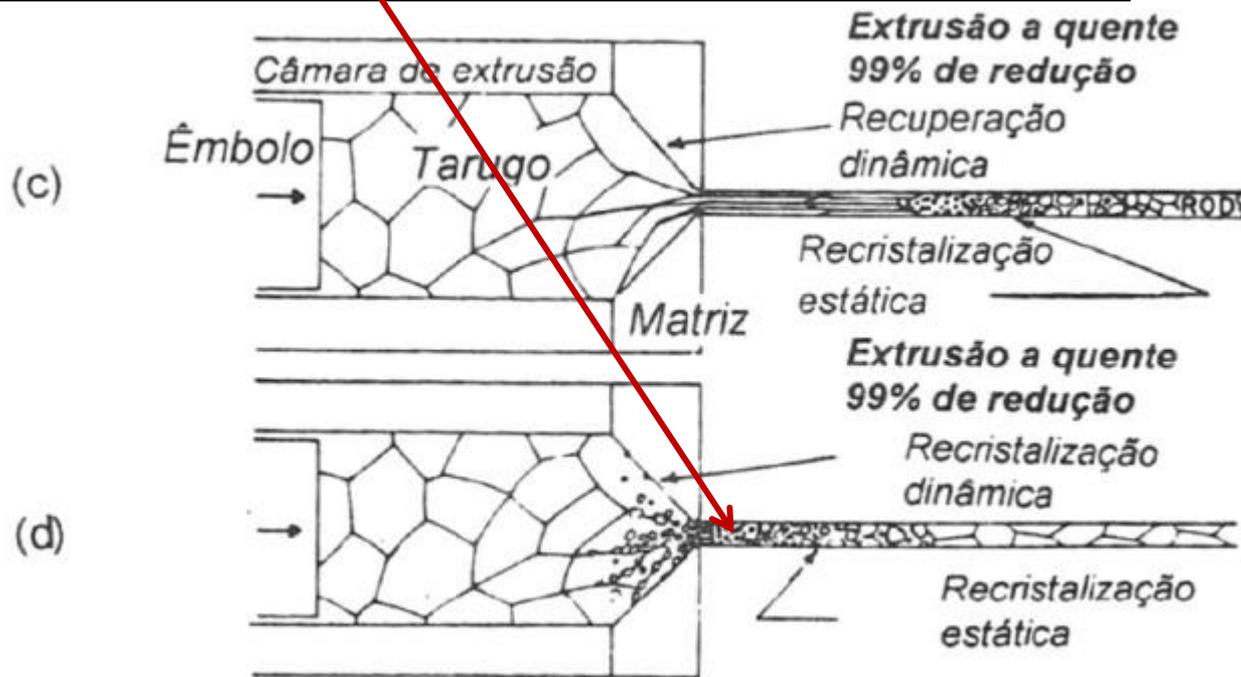


FENÔMENOS DOS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO A QUENTE

RECRISTALIZAÇÃO:

- ESTÁTICA;
- DINÂMICA;
- METADINÂMICA.

EXTRUSÃO COM GRANDE QUANTIDADE DE DEFORMAÇÃO

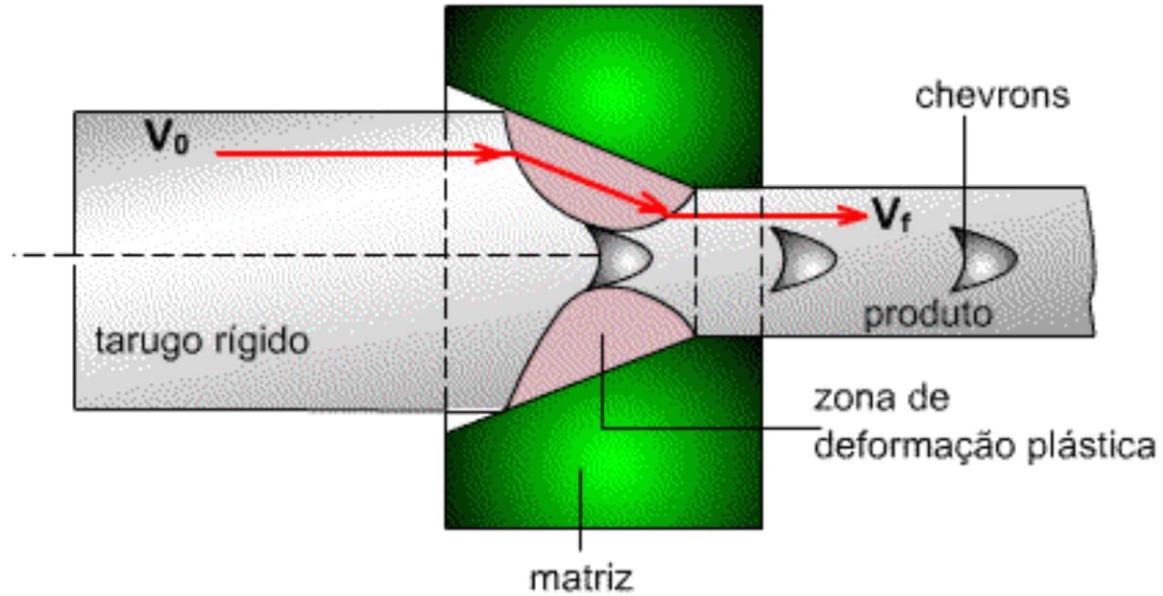


DEFORMAÇÃO À FRIO

- Aumenta a dureza e a resistência dos materiais, mas a ductilidade diminui (menor tenacidade);
- Permite a obtenção de dimensões dentro de tolerâncias estreitas;
- Produz melhor acabamento superficial.

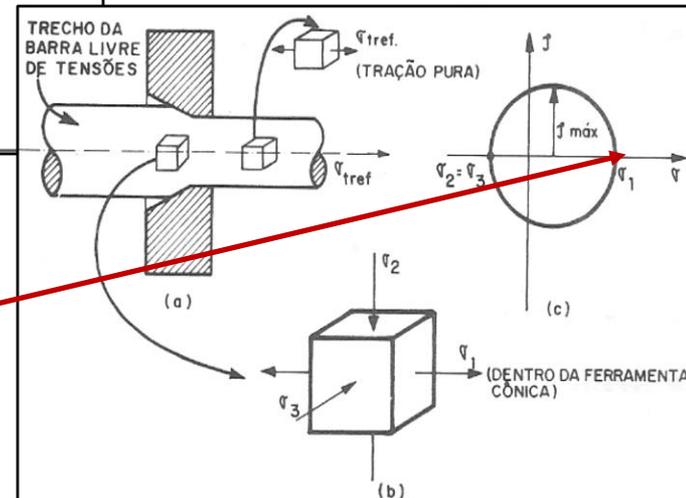
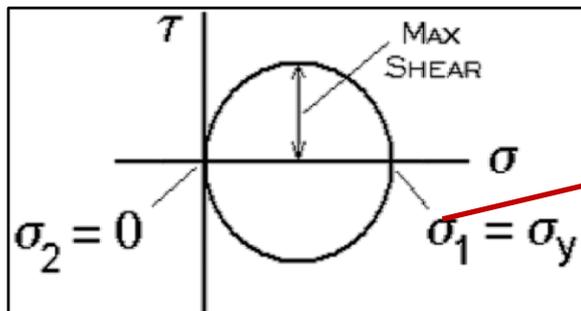
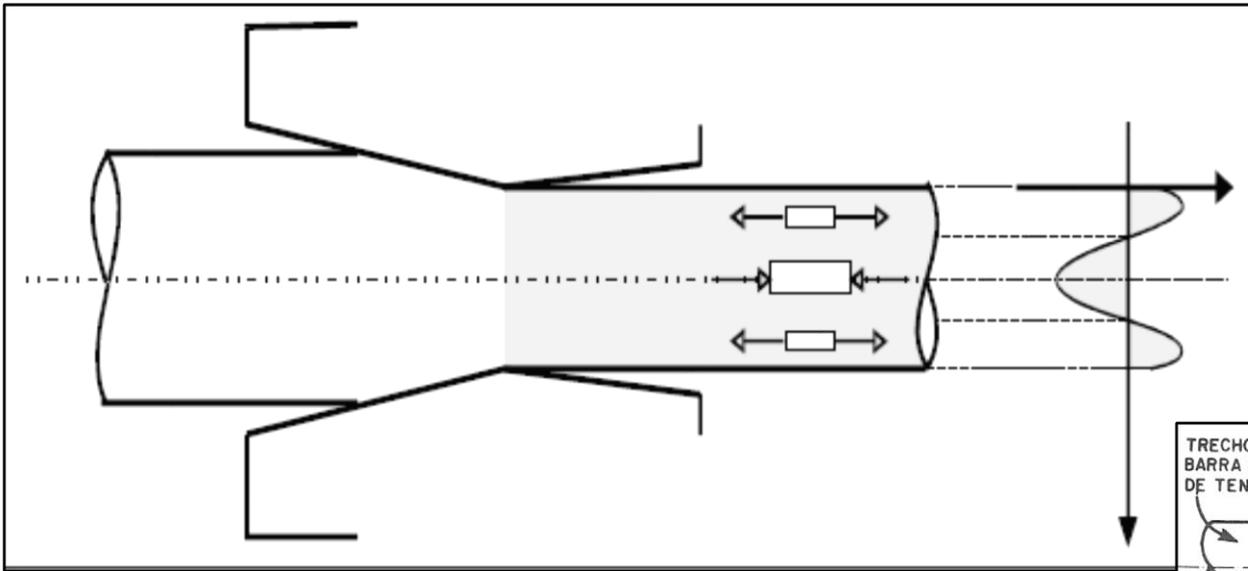
TREFILAÇÃO E EXTRUSÃO

Fraturas Centrais - Chevrons



TREFILAÇÃO: ESTADO COMPRESSIVO DA FIEIRA-TENSÃO RESIDUAL NO CENTRO É COMPRESSIVA.

MATERIAL TREFILADO NÃO É ADEQUADO PARA FORJAMENTO



σ_1 trefilação < σ_1 tração

Seleção Sistemática do Processo

PROCESSOS

TRADUÇÃO DOS REQUISITOS DO PROJETO

Identificar Classe do Material, Classe da Forma e os Atributos do Processo

TRIAGEM USANDO AS RESTRIÇÕES

Elimina os processos que não podem atender a tradução dos requisitos

SELEÇÃO USANDO O OBJETIVO

Ordenar: a) pelo tamanho da carga ou b) pelo custo relativo

BUSCA POR INFORMAÇÕES DE SUPORTE

Busca do histórico familiar daqueles listados no topo

ESCOLHA FINAL DO PROCESSO FINAL

FUNÇÃO: O que o processo deve fazer ? (Forma? União? Acabamento)

RESTRICÇÕES: Qual o material, forma, tamanho, precisão, etc, deve ele fornecer ?

OBJETIVO: O que deve ser minimizado ou maximizado? (Custo? Tempo? Qualidade?)

VARIÁVEIS LIVRES: Escolha de Processo
Opções de Cadeia de Processamento

- Na **Tradução** as exigências de projeto são expressas como **restrições** sobre o **material, tamanho, forma, tolerância, rugosidade** e outros parâmetros relacionados ao processo.
- Utilizando os **diagramas de seleção de processos**, as **Restrições** são utilizadas para **eliminar os processos que não atendem**.
- Os **processos** selecionados são então **ranqueados** por **qualidade final e custo**.

Cartas de Seleção

Cada processo é caracterizado por um conjunto de atributos, apresentados como matrizes ou gráfico de barras;

Matriz Processo-Material

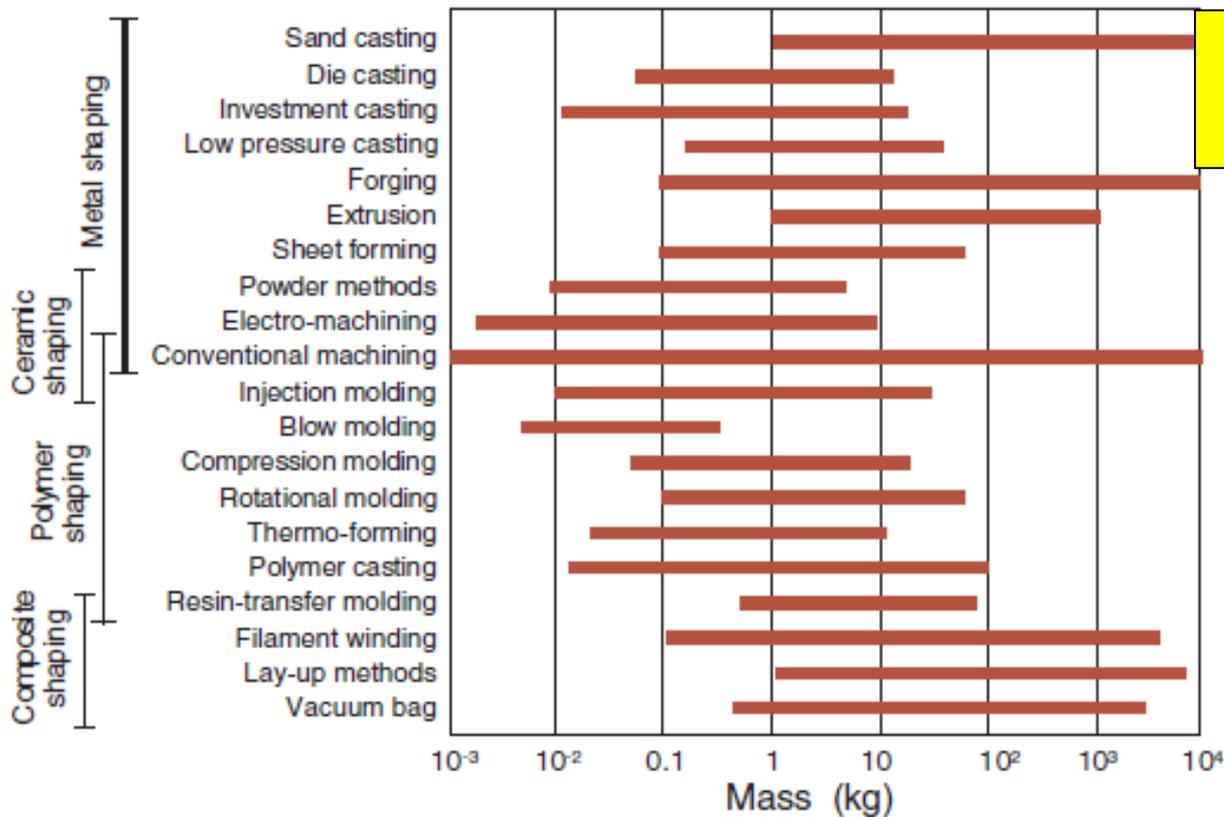
		Metals, ferrous	Metals, non-ferrous	Ceramics	Glasses	Elastomers	Thermoplastics	Thermosets	Polymer foams	Composites
Shaping	Sand casting	●	●							
	Die casting	●	●							
	Investment casting	●	●							
	Low pressure casting		●							
	Forging	●	●							
	Extrusion		●							
	Sheet forming	●	●							
	Powder methods	●	●	●						
	Electro-machining	●	●	●						
	Conventional machining	●	●	●	●	●	●	●	●	
	Injection molding				●	●	●	●	●	
	Blow molding				●		●			
	Compression molding				●	●	●	●		
	Rotational molding					●	●	●	●	
	Thermo-forming					●	●	●		
	Polymer casting					●	●	●	●	
	Resin-transfer molding						●	●	●	●
	Filament winding									●
Lay-up methods									●	
Vacuum bag									●	
Joining	Adhesives	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Welding, metals	●	●							
	Welding, polymers					●	●	●	●	
	Fasteners	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Finishing	Precision machining	●	●				●	●		●
	Grinding	●	●	●	●					●
	Lapping	●	●	●	●					●
	Polishing	●	●	●	●		●	●		●

- A matriz mostra a **correspondência** entre **material** e classes de **processo**.
- Processos que não podem conformar o material de escolha estão fora da seleção.

Matriz Processo-Forma

		Circular prismatic	Non-circular prismatic	Flat sheet	Dished sheet	3-D solid	3-D hollow
Metal shaping	Sand casting	●	●			●	●
	Die casting	●	●			●	●
	Investment casting	●	●			●	●
	Low pressure casting	●	●			●	●
	Forging	●	●			●	
	Extrusion	●	●				
	Sheet forming	●	●	●	●		
	Powder methods	●	●			●	●
	Electro-machining	●	●	●		●	●
	Conventional machining	●	●	●	●	●	●
Ceramic shaping	Injection molding	●	●			●	●
	Blow molding				●		●
	Compression molding			●	●	●	
Polymer shaping	Rotational molding				●		●
	Thermo-forming				●		
	Polymer casting	●	●			●	●
Composite shaping	Resin-transfer molding	●	●	●	●	●	●
	Filament winding	●	●		●		●
	Lay-up methods			●	●	●	
	Vacuum bag			●	●		

- É possível combinar mais que um processo, como por exemplo a fundição antecede a usinagem.
- Toda adição de processo envolve mais custos.

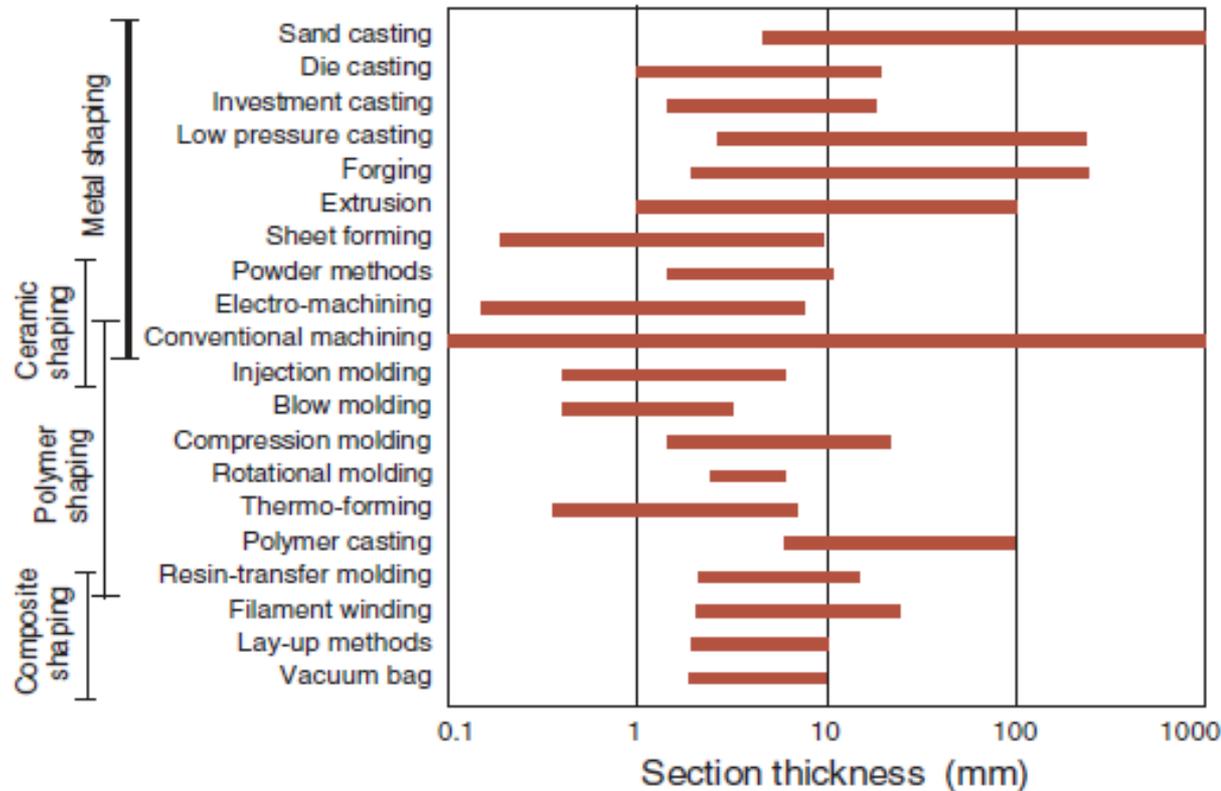


Mapa Processo-Massa

Soldagem e/ou adesivos

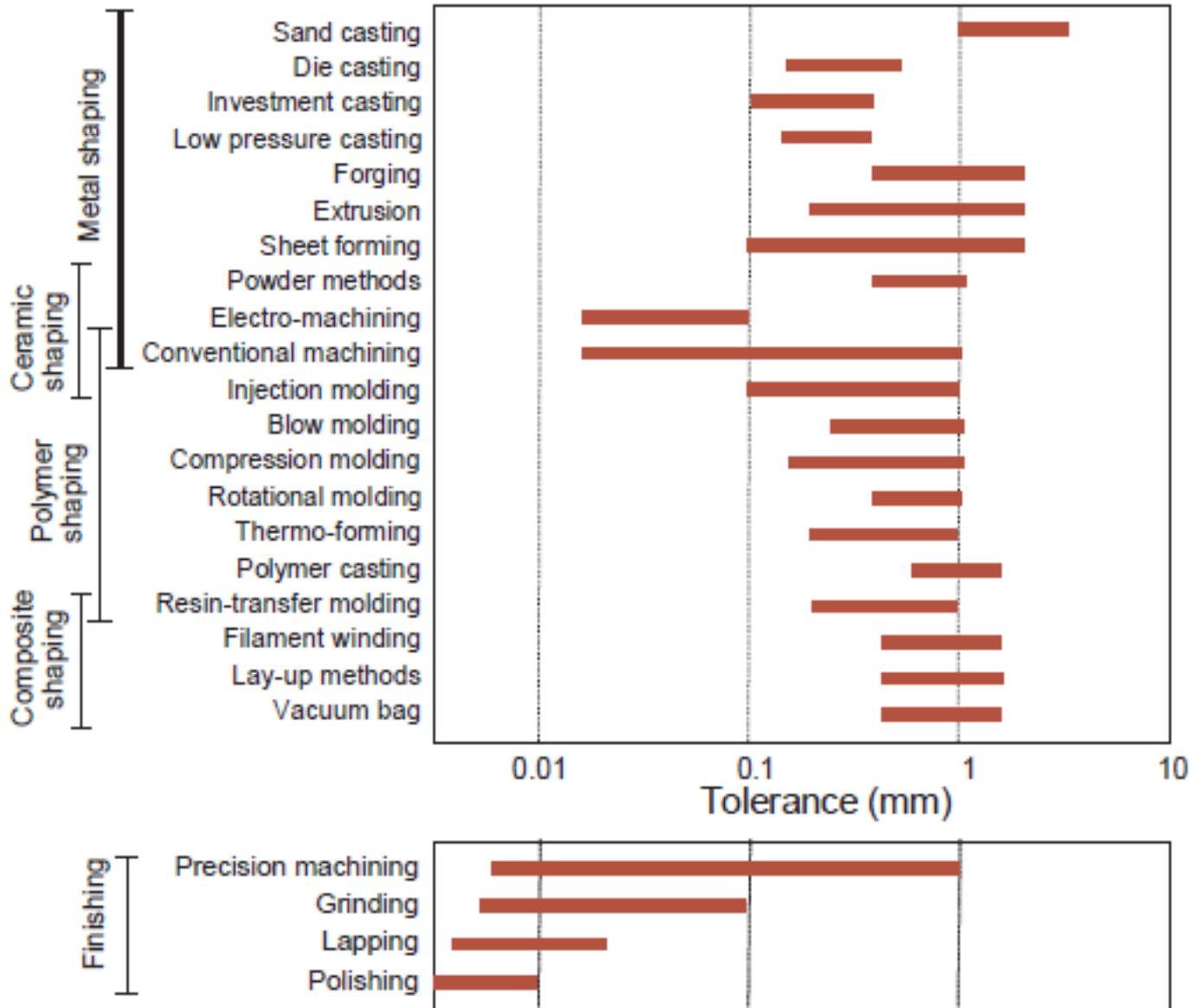
- Grandes componentes podem ser construído pela soldagem de pequenas partes.
- Os processos são agrupados pelas classes de materiais que eles podem lidar, permitindo a classificaçã

Mapa Processo-Espessura da Seção

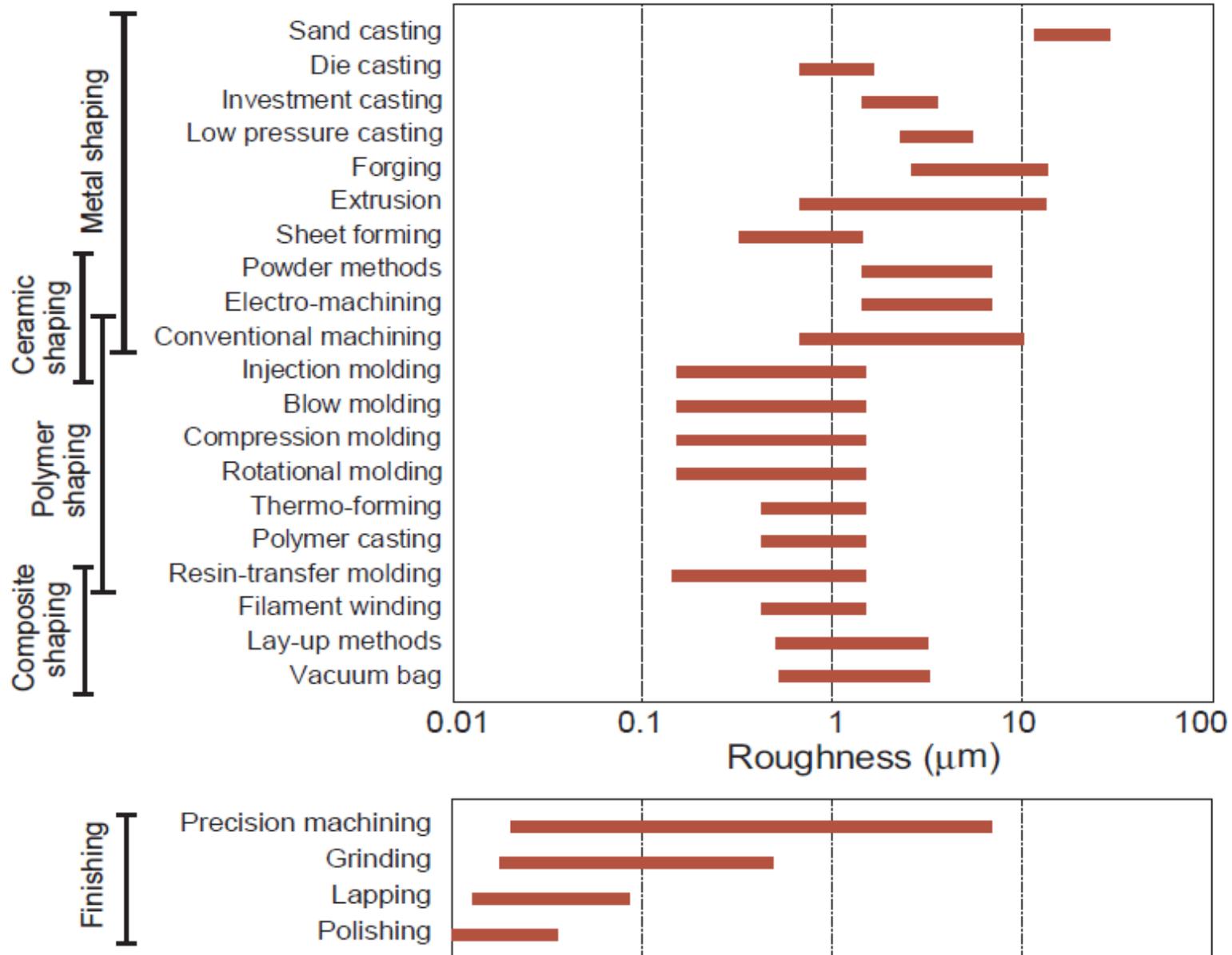


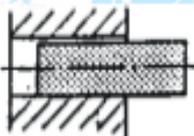
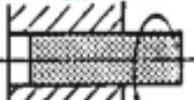
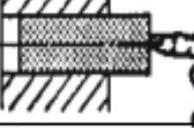
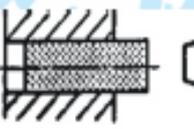
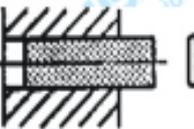
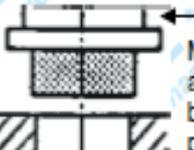
- Tensão superficial e fluxo de calor limitam a seção e espessura mínima da forma produzida por fundição;
- Os processos de conformação plástica permitem um intervalo maior de espessura;
- Usinagem pode produzir peças delgadas e assim por diante.

Mapa Processo-Tolerância/Acabamento



Mapa Processo-Rugosidade/Acabamento



<i>Tipo de ajuste</i>	<i>Exemplo de ajuste</i>	<i>Extra-preciso</i>	<i>Mecânica precisa</i>	<i>Mecânica média</i>	<i>Mecânica ordinária</i>	<i>Exemplo de aplicação</i>
LIVRE	 Montagem à mão, podendo girar sem esforço.	H6 e7	H7 e7 H7 e8	H11 e9	H11a11	Peças cujos funcionamentos necessitam de folga devido a dilatação, ou que estejam mau alinhadas, etc
ROTATIVO	 Montagem à mão, com facilidade.	H6 f6	H7 f7	H8 f8	H10 d10 H11 d11	Peças que deslizam ou giram com boa lubrificação. Ex: eixos, mancais, etc.
DESLIZANTE	 Montagem à mão, com leve pressão.	H6 g5	H7 g6	H8 g8 H8 h8	H10 h10 H11 h11	Peças que deslizam ou giram com grande precisão. Ex: anéis de rolamentos, corrediços, etc
DESLIZANTE JUSTO	 Montagem a mão, porém necessitando de algum esforço.	H6 h5	H7 h6			Encaixes fixos de precisão, componentes lubrificados destacáveis à mão. Ex: punções, guias, etc.
ADERENTE FORÇADO LEVE	 Montagem com auxílio de martelo.	H6 j5	H7 j6			Peças que necessitam freqüentes desmontagens. Ex: polias, engrenagens, rolamentos, etc.
FORÇADO DURO	 Montagem com auxílio de martelo pesado.	H6 m5	H7 m6			Peças possíveis de montagem e desmontagem sem deformação da peça.
À PRESSÃO COM ESFORÇO	 Pressão Montagem com auxílio de balancim ou por dilatação.	H6 p5	H7 p6			Peças impossíveis de serem desmontadas sem deformação. Ex: bucha à pressão, etc.

TOLERÂNCIA DE BARRA TREFILADA:
h11

TOLERÂNCIA PARA BARRA RETIFICADA:
h8/h7

unidade: mm

Dimensão Nominal DIN	Tolerâncias					
	h7	h8	h9	h10	h11	h12
3 ≤ 5,99mm	0,012	0,018	0,030	0,048	0,075	0,120
6 ≤ 9,99mm	0,015	0,022	0,036	0,058	0,090	0,150
10 ≤ 17,99mm	0,018	0,027	0,043	0,070	0,110	0,180
18 ≤ 29,99mm	0,021	0,033	0,052	0,084	0,130	0,210
30 ≤ 49,99mm	0,025	0,039	0,062	0,100	0,160	0,250
50 ≤ 79,99mm	0,030	0,046	0,074	0,120	0,190	0,300
80 ≤ 119,99mm	0,035	0,054	0,087	0,140	0,220	0,350

**EXEMPLO DE SELEÇÃO DE
PROCESSOS:
MELHORIA CONTÍNUA**

ENCRUAMENTO/ ATMOSEFERAS DE COTTRELL

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE BARRAS DE PROTENSÃO.

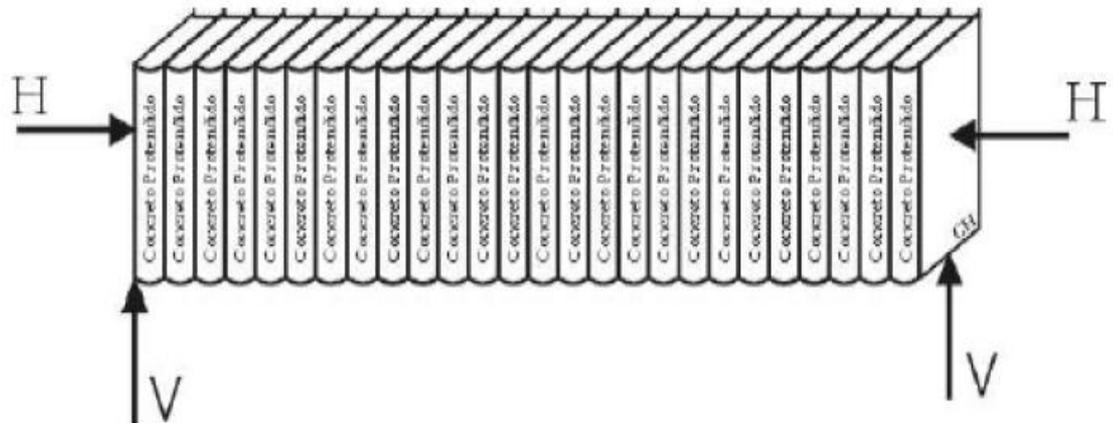


Figura 2 – Fundamento da protensão aplicado a uma pilha de livros.

ENCRUAMENTO/ ATMOSEFAS DE COTTRELL

Edifícios:

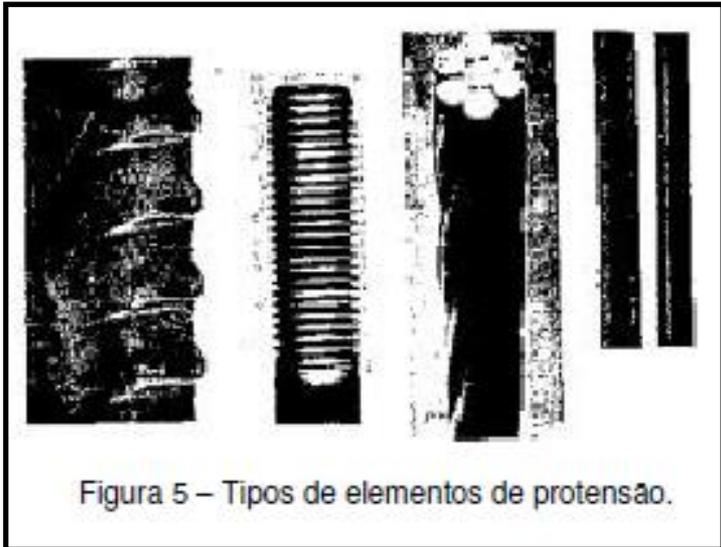
Vigas mais esbeltas



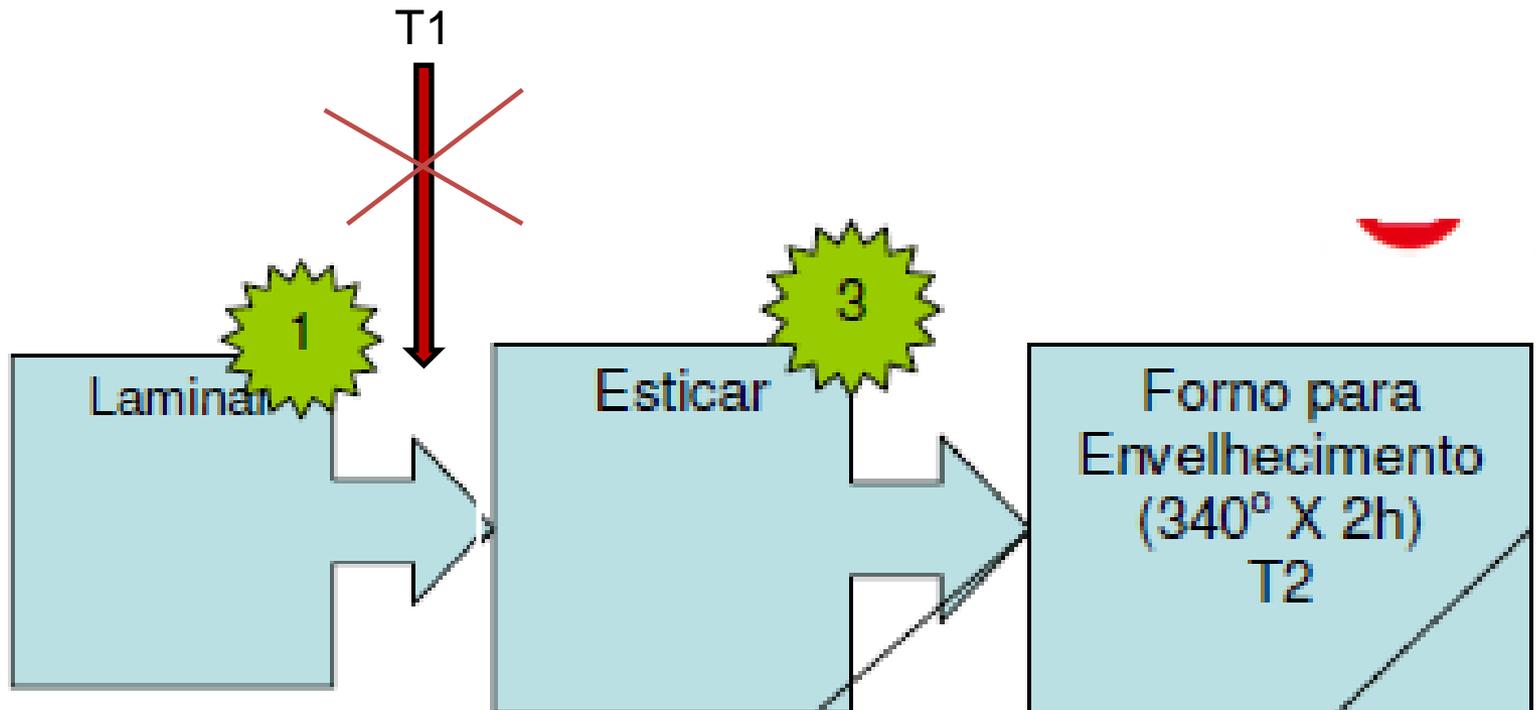
Lajes com vãos maiores



ENCRUAMENTO/ ATMOSEFERAS DE COTTRELL



ENCRUAMENTO/ ATMOSFERAS DE COTTRELL



COMPROMISSO ENTRE ENCRUAMENTO, RECUPERAÇÃO E DIFUSÃO

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2 C}{dX^2}$$

$$D = D_0 \exp(-Q_d / RT)$$

**Bielas SAE 1541 X 27MnSiVS6:
Metalurgia, Processo de
Forjamento, Usinabilidade, Propriedades Mecânicas e
Atendimentos aos Requisitos Operacionais**

Alessandro Teixeira Neto

Antônio José de Araujo Pôrto

Edward Werninghaus

José Benedito Marcomini

Mauro Valadão



CROSS WEDGE ROLLING

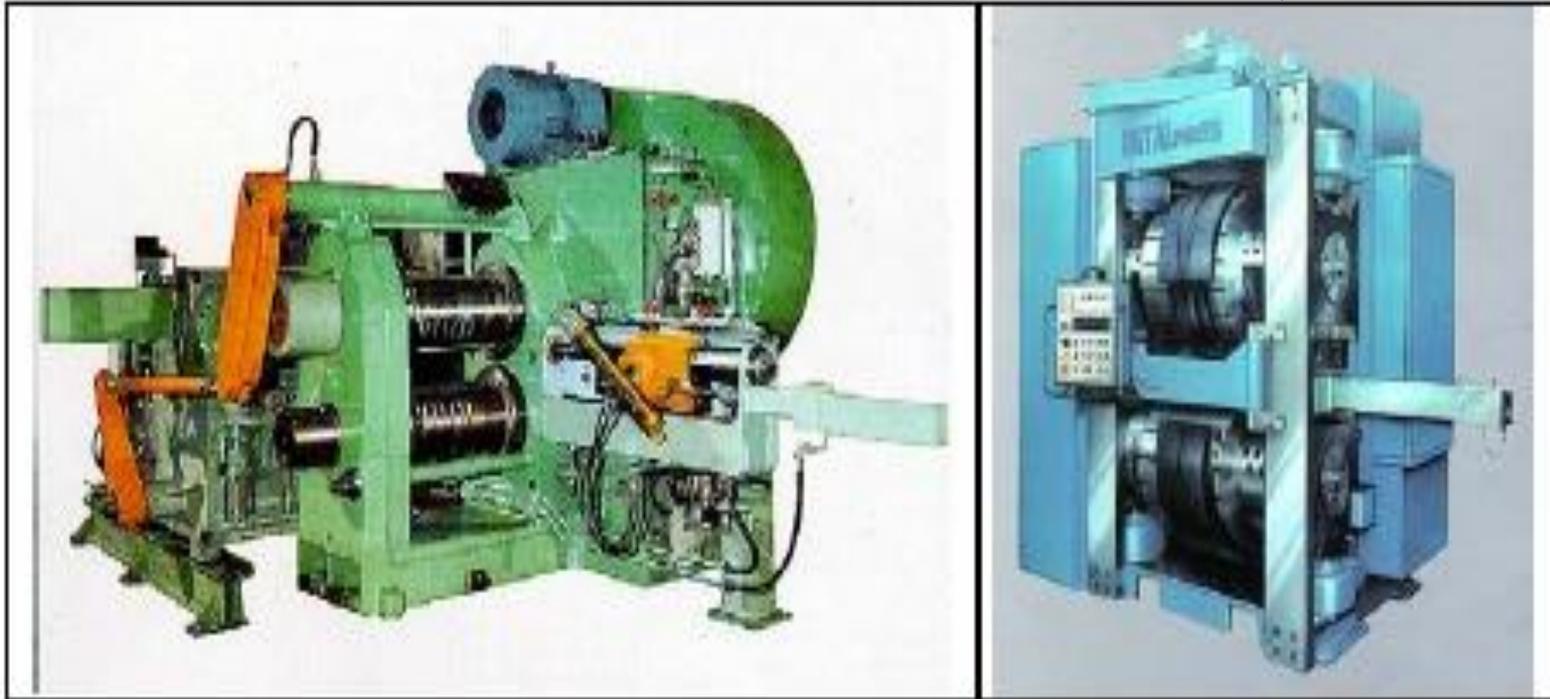
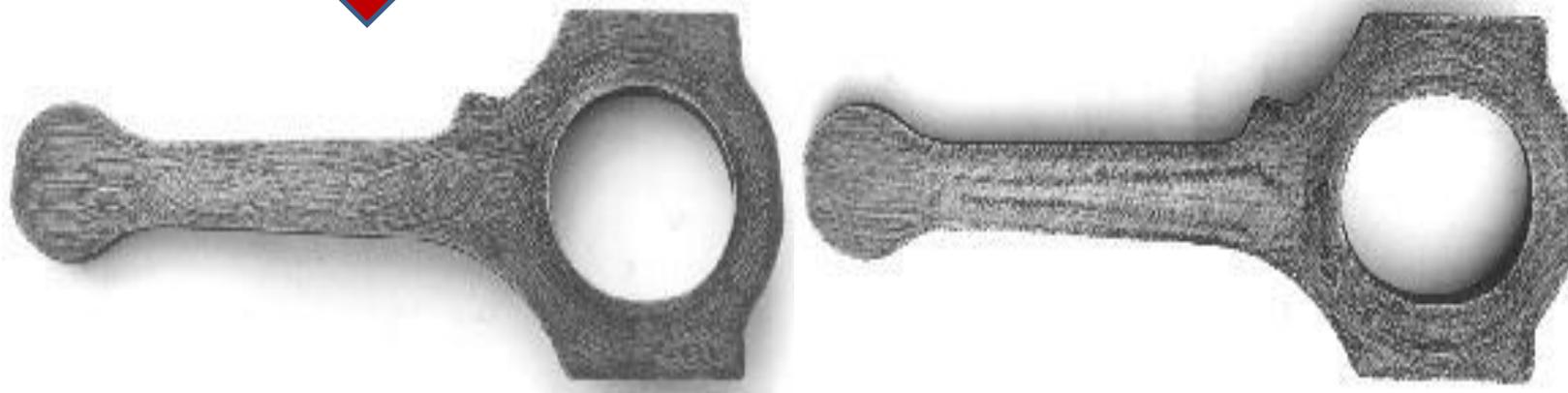
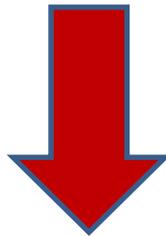


Figura 2 – Laminadoras Convencional e Transversal

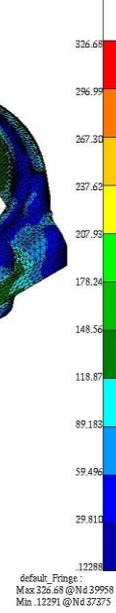
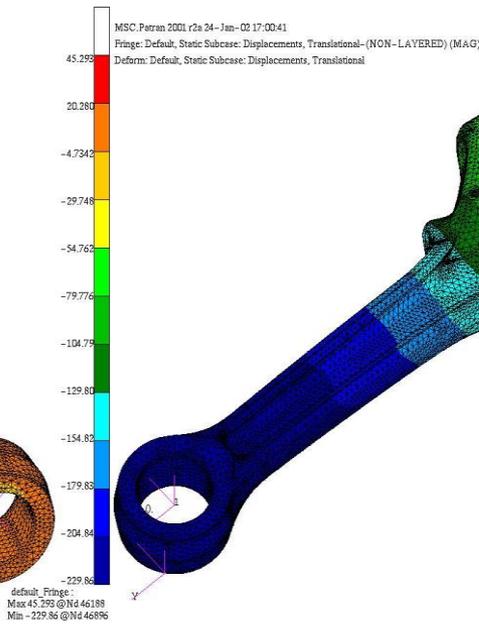
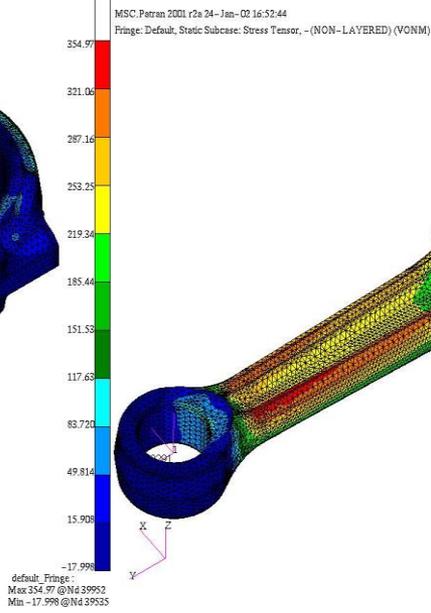
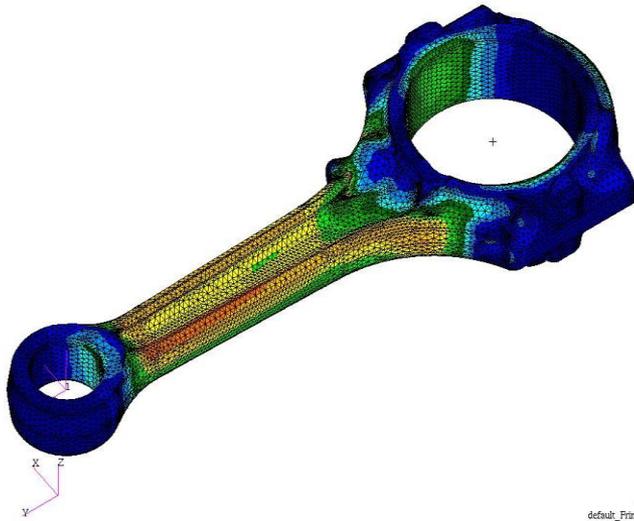
CROSS WEDGE ROLLING



Fibramento CWR e convencional



Figura 5 – Condições de Contorno



Resultados da análise de MEF.

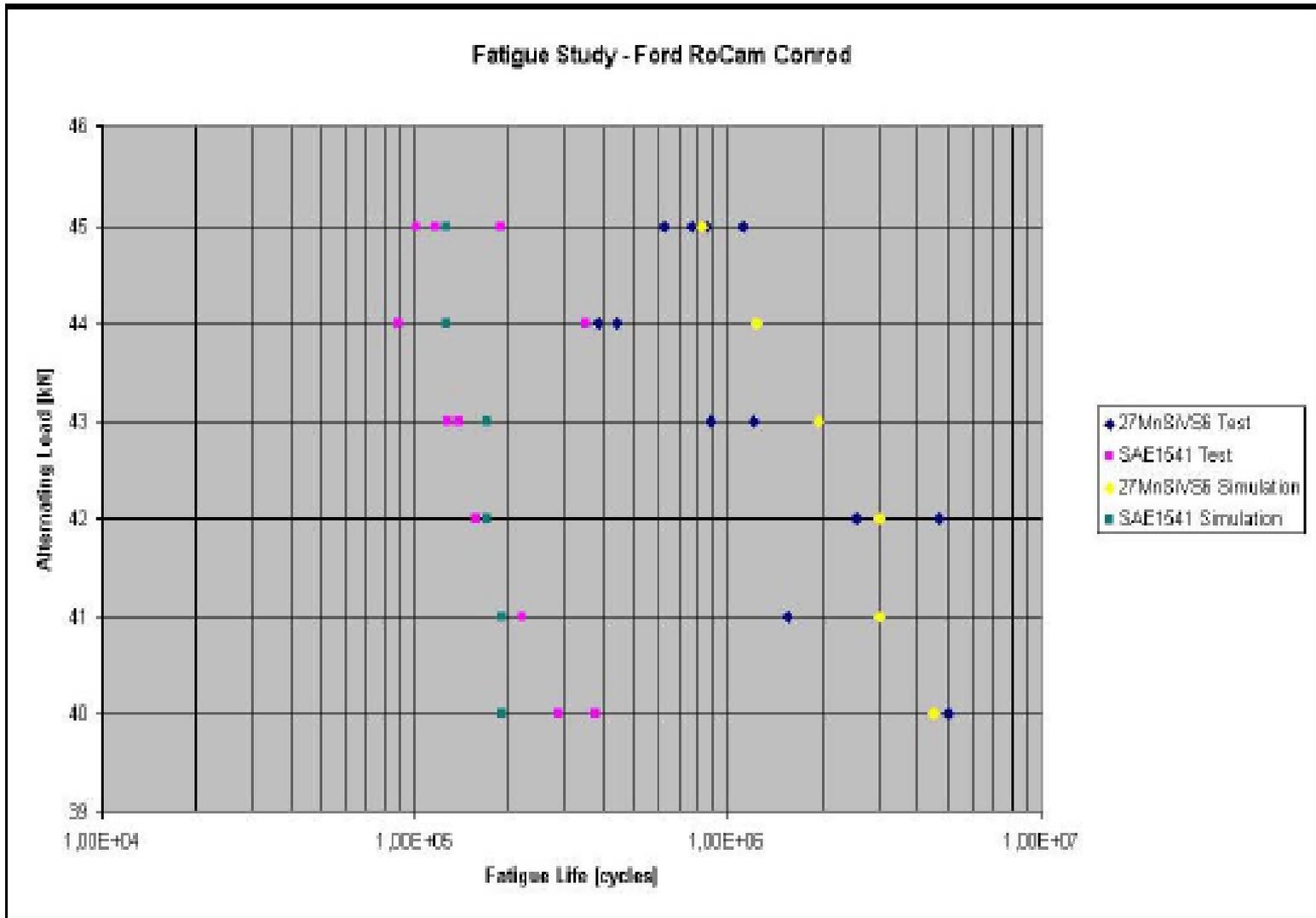


Figura 9 – Resistência à Fadiga, Resultados Teóricos e Experimentais

NA PIOR CONDIÇÃO, SE O CARRO FICASSE LIGADO ININTERRUPTAMENTE, LEVARIA MAIS DE 300 ANOS PARA FALHAR POR FADIGA.

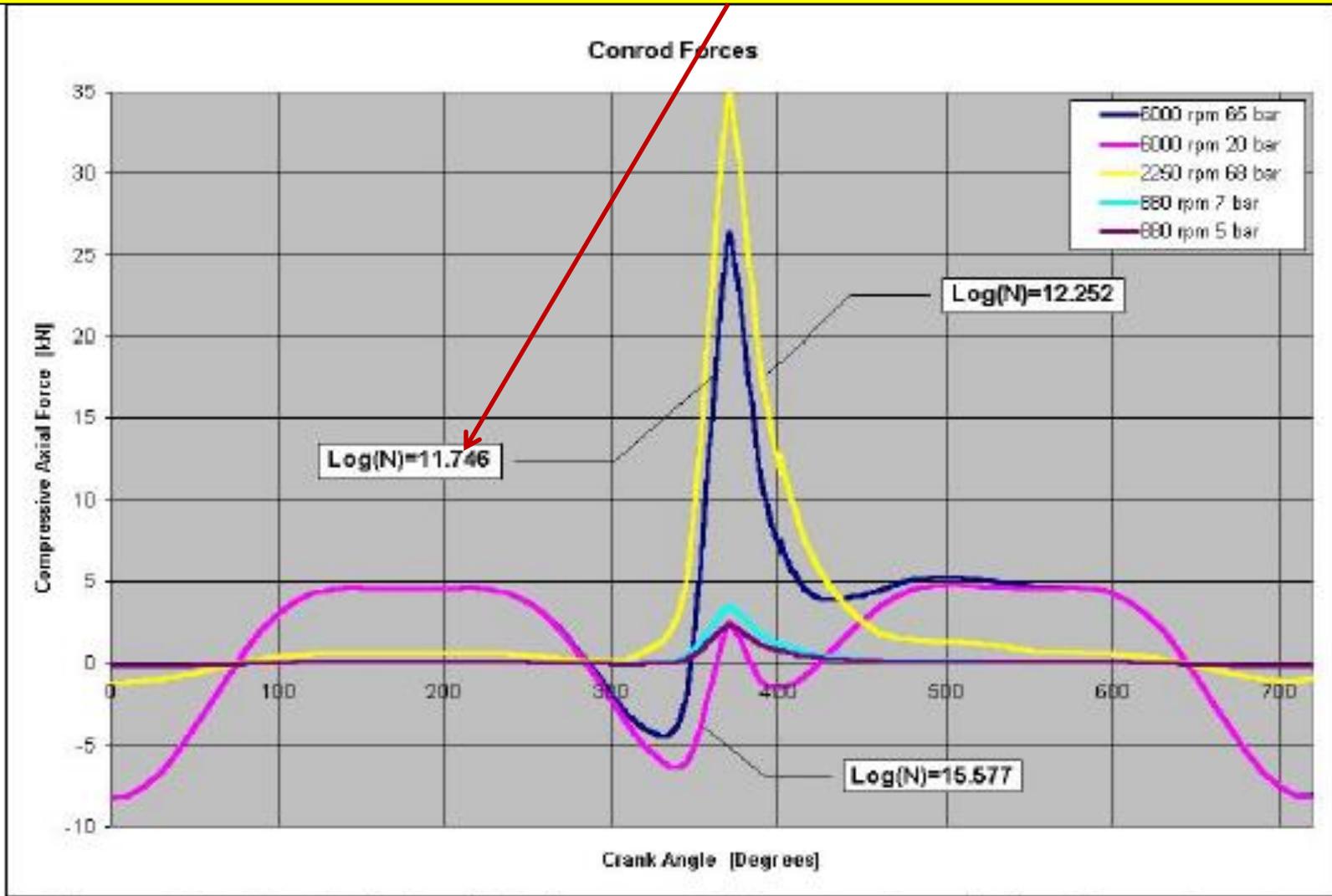


Figura 10 – Resistência à Fadiga para Diferentes Condições Operacionais

FIM